

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO GRANITO NO MUSEU DO VINHO DO PORTO NA RUA DA REBOLEIRA

ANA FILIPA GOMES OLIVEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE
CONSTRUÇÃO**

Orientador: Professor Doutor Arlindo Jorge Sá de Begonha

Coorientadora: Engenheira Anastácia de Carvalho Silva

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miiec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e Irmão

It was the best of times, it was the worst of times.

Charles Dickens

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Arlindo Begonha por ter aceite acompanhar-me neste projecto, e por todo o empenho, dedicação e entusiasmo que foram sempre uma constante. Pelo conhecimento que sempre procurou partilhar e que teve um contributo inestimável para a realização deste trabalho bem como para a minha formação.

À Engenheira Anastácia Silva, por ter participado neste trabalho, pela sua partilha de conhecimento e pela boa disposição e vontade de ajudar, que sempre a acompanharam.

A toda a equipa do LEMC, em particular ao seu Diretor, o Professor Doutor Afonso Serra Neves, às engenheiras Patrícia Pereira e Dora Pinheiro, por todas as dúvidas esclarecidas e momentos de descontração, e aos técnicos Gilberto Costa, Manuel Cardoso e Fernando Hora, pela disponibilidade na ajuda à realização dos meus ensaios.

À Doutora Daniela Silva do CEMUP, pela primazia no trabalho realizado, sem o qual não teria sido possível concretizar este trabalho, e pela boa disposição e simpatia contagiantes.

À Arquiteta Sónia Oliveira e ao Engenheiro Marco Gonçalves pela amabilidade com que sempre nos receberam e pelo consentimento para a realização dos diversos ensaios necessários para a realização deste trabalho.

Ao meu pai David e à minha mãe Ana, por todo o esforço, dedicação e educação. Por serem sempre o ninho onde volto e me sinto segura.

Ao meu irmão David, por seres desde sempre o meu exemplo, pelas palavras de incentivo e, por me ajudares sempre a superar-me! Inconscientemente, foste uma peça essencial para a realização deste curso. É um privilégio ser tua irmã.

Ao João por ser o meu farol nas tempestades, o meu companheiro na descoberta do Mundo. Pela fé que sempre depositou em mim, mesmo quando eu não me achava capaz, pelo amor, e pelos sorrisos! E por conseguires viver na minha montanha russa de emoções!

À Ana Sousa (Franjas) e à Catarina Álvares por serem seguramente a melhor coisa que esta faculdade me deu. Pelos sorrisos, que são uma constante, pelo mimo, por ultrapassarem todas as minhas crises de mau humor e de ciúmes, pelas saudades de passar mais de duas horas longe de vocês e por, no fim do dia, serem as minhas amigas.

Ao Luís Ferreira, por seres o melhor desenhador de unicórnios, pelas piadas que eu por vezes não entendo e no fim explicas, pelas regras de etiqueta, pelos momentos de descontração e, principalmente, pela amizade.

À Rita Coelho e à Carolina Cabanelas pelo privilégio que foi ter-vos ao meu lado ao longo destes anos, pelos dias de estudo na biblioteca e pela amizade. Ao Hugo Morais, companheiro nas melhores viagens de carro.

À Helena Poças, que me acompanhaste neste quinto ano, pelos apontamentos partilhados, pelas palavras que me alegravam o dia e pelas palavras certas na hora certa.

Às pessoas que me acompanharam diariamente na *mezzanine* e que percorreram esta etapa comigo.

Por último, à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a instituição que foi a minha casa ao longo destes anos e que tão bem me acolheu.

A todos o meu sincero agradecimento!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização do granito do Porto do futuro Museu do Vinho do Porto, na Rua da Reboleira.

Principiou-se o presente trabalho com uma caracterização do edifício na Rua da Reboleira, e do granito do Porto, uma vez que este foi o material empregue na sua construção.

As deteriorações da pedra empregue no edifício são descritas macroscopicamente, apresentando-se uma cartografia das mesmas, com recurso ao AutoCAD 2016.

Foram recolhidas diversas amostras para análise e identificação dos minerais dos sais solúveis presentes nas deteriorações da pedra, através da microscopia eletrónica de varrimento.

Com o objetivo de realizar a caracterização petrofísica da pedra, extraíram-se sete tarolos, que foram ensaiados para a caracterização do meio poroso e das propriedades mecânicas.

A caracterização do meio poroso foi realizada através dos ensaios da porosidade livre às 48 horas, densidade aparente, porometria com o porosímetro de mercúrio, absorção de água por capilaridade, evaporação e velocidade de propagação dos ultrassons.

Para determinação das propriedades mecânicas da pedra recorreu-se ao ensaio da resistência à compressão uniaxial. Por fim, recorreu-se ao uso do esclerómetro de Schmidt para avaliar a resistência superficial da pedra.

Após o trabalho experimental, compararam-se os valores obtidos com outros em diferentes tipos de granito.

Por fim, os resultados obtidos no caso de estudo foram correlacionados com outros valores existentes para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues noutros edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: granito do Porto, deteriorações da pedra, cartografias das deteriorações, minerais de sais solúveis, ensaios petrofísico e mecânicos da pedra.

ABSTRACT

This thesis aimed at characterizing the Oporto granite present at the future Porto Wine's Museum, at Rua da Reboleira.

The work began with the characterization of the building itself and the Oporto granite, since it was the material used in its construction.

The deteriorations of the stones used in the building were described macroscopically, complemented by their cartography, developed in AutoCAD 2016.

Several samples were collected with the purpose of analysing and identifying the minerals of soluble salts present in the deteriorations of the stone, using a scanning electron microscope. Seven specimens from drilled cores were collected for the petrophysical characterization of the granite, which were tested to characterize the porous network and the mechanical properties of the stone.

To characterize the porous network, several experiments were conducted, such as free porosity, bulk density, porosimetry by mercury, water absorption by capillarity, evaporation and ultrasonic velocity.

With the aim of determining the mechanical properties of the granite, uniaxial compressive tests were performed to obtain the compressive strength. Measurements with a Schmidt hammer were also performed to evaluate the surface hardness.

After the experiments, the results were compared with those obtained on other experimental campaigns for distinct types of granite.

To conclude, the results were correlated with existing values for weathering profiles of the Oporto granite as well as stones used in other buildings.

KEYWORDS: Oporto granite, stone deterioration, cartography of the deteriorations, minerals of soluble salts, petrophysical and mechanical characterization

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO	1
1.2. O EDIFÍCIO DA RUA DA REBOLEIRA	1
1.2.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	1
1.2.2. A RUA DA REBOLEIRA	3
1.2.3. A HISTÓRIA DO EDIFÍCIO	4
1.3. O GRANITO DO PORTO	7

2. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA E CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES	11
2.1. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES	11
2.1.1. INTRODUÇÃO	11
2.1.2. DESAGREGAÇÃO GRANULAR	11
2.1.3. PLAQUETAS	15
2.1.4. EFLORESCÊNCIAS	16
2.1.5. CROSTAS NEGRAS	16
2.2. CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES	17

3. AMOSTRAGEM E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS	31
3.1. AMOSTRAGEM	31
3.2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS	38
3.2.2. MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO	38
3.2.3. POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS	39
3.2.4. DENSIDADE APARENTE	39
3.2.5. POROMETRIA COM O POROSÍMETRO DE MERCÚRIO	40
3.2.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	41
3.2.7. EVAPORAÇÃO	42

3.2.8. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DOS ULTRASSONS	43
3.2.9. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL	44
3.2.10. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA SUPERFICIAL ATRAVÉS DO ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT	46

4. ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DO GRANITO DO PORTO

49

4.1. INTRODUÇÃO	49
4.2. DESAGREGAÇÃO GRANULAR	51
4.3. PLAQUETAS AFETADAS POR DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE MUITO FORTE	69
4.4. EFLORESCÊNCIAS FLUFFY	72
4.5. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS	76
4.6. CROSTAS NEGRAS	79
4.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82

5. ESTUDO PETROFÍSICO DO GRANITO DO PORTO

85

5.1. INTRODUÇÃO	85
5.2. POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS	86
5.3. DENSIDADE APARENTE	90
5.4. POROMETRIA COM O POROSÍMETRO DE MERCÚRIO	96
5.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	109
5.6. EVAPORAÇÃO	122
5.7. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DOS ULTRASSONS	134
5.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL	138
5.9. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA SUPERFICIAL ATRAVÉS DO ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT	143
5.10. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	153

6. CONCLUSÕES

161

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
----------------------------------	-----

ANEXO A1 – AUTORIZAÇÃO PARA TRANSFORMAÇÃO EM ARMAZÉM DE DEPÓSITO DE BACALHAU	169
--	-----

ANEXO A2 – RESULTADOS DO ENSAIO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	177
--	-----

ANEXO A3 – RESULTADOS DO ENSAIO DE EVAPORAÇÃO	201
---	-----

ANEXO A4 – LEITURAS E RESULTADOS OBTIDOS COM O ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT	223
--	-----

Índice de Figuras

Figura 1.1: Mapa com a localização do edifício do Museu do Vinho do Porto (Google Earth, 2017)	2
Figura 1.2: Alçado das fachadas Sul e Norte do edifício da Rua da Reboleira.....	2
Figura 1.3: Planta dos seis andares do edifício da Rua da Reboleira	3
Figura 1.4: Fachadas dos edifícios da Rua da Reboleira (2017/06/19)	4
Figura 1.5: Muro de suporte e Muralha Fernandina existentes no interior do edifício no piso -2.....	5
Figura 1.6: Aplicação de “tacos” de ardósia em juntas do edifício do Museu do Vinho do Porto	7
Figura 1.7: Granito do Porto – Apatite, zircão e plagioclase meteorizada – Imagens e espectros obtidos por microscópio eletrónico de varrimento (MEV)	8
Figura 1.8: Granito do Porto meteorizado – Caulinite e halosite – Imagens e espectro obtidos por MEV	10
Figura 2.1: Desagregação granular – Interior do Museu do Vinho do Porto – Fachada Sul – Adoçamento das formas e arestas, aumento da rugosidade das superfícies, perda e queda de material pétreo por gravidade.....	12
Figura 2.2: Desagregação granular – Fachada Norte – Interior – Piso 0	13
Figura 2.3: Desagregação granular – Exterior	14
Figura 2.4: Plaquetas – Interior do Museu do Vinho do Porto– Fachada Sul.....	15
Figura 2.5: Eflorescência fluffy e eflorescência pulverulenta.....	16
Figura 2.6: Crostas negras – Exterior – Fachada Norte	17
Figura 2. 7: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso -2 – Muro de suporte – Lado esquerdo.....	18
Figura 2.8: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso -1	19
Figura 2.9: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso 0.....	20
Figura 2.10: Cartografia das deteriorações – Piso 0 – Interior – Fachada Norte – Vão Central	21
Figura 2.11: Cartografia das deteriorações –Piso 1 – Fachada Sul – Vão Esquerdo – Ombreira esquerda.....	22
Figura 2.12: Cartografia das deteriorações – Piso 1 – Interior – Fachada Sul.....	23
Figura 2.13: Cartografia das deteriorações – Piso 1 – Fachada Norte.....	24
Figura 2.14: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Fachada Sul – Vão Esquerdo	25
Figura 2.15: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerdo.....	26
Figura 2.16: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Interior – Fachada Norte – Vão esquerdo – Ombreira esquerda	27
Figura 2.17: Cartografia das deteriorações – Piso 3 – Interior – Fachada Sul.....	28

Figura 2.18: Cartografia das Deteriorações – Piso 3 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda.....	29
Figura 3.1: Imagens da extração e aspeto dos tarolos e corte dos provetes cilíndricos	35
Figura 3.2: Localização das amostras e dos tarolos nos distintos pisos	36
Figura 3.3: Ensaio da determinação da porosidade livre às 48 h	39
Figura 3.4: Ensaio da absorção de água por capilaridade.....	41
Figura 3.5: Ensaio de absorção de água por capilaridade – Exemplo de uma rede porosa unimodal	42
Figura 3.6: Ensaio de absorção de água por capilaridade – Exemplo de uma rede porosa bimodal	42
Figura 3.7: Ensaio da evaporação – Aparência dos provetes	43
Figura 3.8: Ensaio da velocidade de propagação dos ultrassons.....	44
Figura 3.9: Ensaio para a determinação da resistência à compressão uniaxial com o atuador 702 – CIL.DE.150kN.100.70.200.....	44
Figura 3.10: Ensaio para a determinação da resistência à compressão uniaxial com o atuador 710 – CIL.DE.300kN.140.40.200.....	45
Figura 3.11: Ensaio com o esclerómetro de Schmidt C 181 N da Controls.....	46
Figura 3.12: Ábaco para determinação da resistência à compressão uniaxial através dos valores obtidos com o esclerómetro de Schmidt (adaptado de Hoek, 2007).	47
Figura 3.13: Ilustração das orientações dadas de acordo com os pontos de referência.....	48
Figura 4.1: Cristalização de halite e do gesso no interior da rede porosa do granito - Imagens obtidas por MEV	50
Figura 4.2: Desagregação granular – Halite – cristais com as formas simples de cubo + octaedro ou cubo – Imagens e espectro obtidos por MEV.....	52
Figura 4.3: Desagregação granular – Halite – cristais com as formas simples cubo +octaedro, octaedro ou cubo – Imagens obtidas por MEV	53
Figura 4.4: Desagregação granular – Halite – Cristais cúbicos, prismáticos ou aciculares com as formas simples cubo + octaedro, cubo ou com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	54
Figura 4.5: Desagregação granular – Halite – Cristais cúbicos com as formas simples cubo + octaedro, cristais aciculares e cristal cúbico com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	55
Figura 4.6: Desagregação granular – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	56
Figura 4.7: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	57
Figura 4.8: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	58
Figura 4.9: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	59

Figura 4.10: Desagregação granular – Gesso – Cristais idiomórficos e hipidiomórficos, lamelares, com hábito pseudo-hexagonal, em forma de ponta de lança e isométricos – Imagens e espectro obtidos por MEV	60
Figura 4.11: Desagregação granular – Gesso – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos, lamelares, com hábito pseudo-hexagonal, em forma de ponta de lança, isométricos e cristais com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	61
Figura 4.12: Desagregação granular – Gesso – Cristais isométricos xenomórficos, cristais lamelares com hábito pseudo-hexagonal e com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	62
Figura 4.13: Desagregação granular – Nitratite – Imagens e espectro obtidos por MEV	64
Figura 4.14: Desagregação granular – Nitratite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	65
Figura 4.15: Desagregação granular – Brushite e Bischofite – Cristais prismáticos e xenomórficos – Imagens e espectros obtidos por MEV	66
Figura 4.16: Desagregação granular – Imagens de algas – Imagens obtidas por MEV	67
Figura 4.17: Desagregação granular – Imagens da cristalização de halite + nitratite, halite + gesso, nitratite + gesso e halite + brushite – Imagens obtidas por MEV	68
Figura 4.18: Plaqueta afetada por desagregação granular – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e cristais prismáticos com figuras de dissolução – Imagens e espectro obtidos por MEV	70
Figura 4.19: Plaqueta afetada por desagregação granular – Halite – Cristais prismáticos com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução e pêlos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV	71
Figura 4.20: Plaqueta afetada por desagregação granular – Brushite e gesso – Imagens e espectros obtidos por MEV	72
Figura 4.21: Eflorescências fluffy – Mirabilite e thenardite – Imagens e espectros obtidos por MEV ..	74
Figura 4.22: Eflorescências fluffy – Mirabilite e thenardite – Imagens obtidas por MEV	75
Figura 4.23: Eflorescência fluffy MVP 04 – Aptitalite – Imagens e espectro obtidos por MEV	76
Figura 4.24: Eflorescências pulverulentas – Thenardite – Imagens e espectros obtidos por MEV	77
Figura 4.25: Eflorescências pulverulentas – Thenardite – Imagens obtidas por MEV	78
Figura 4.26: Crostas negras – Gesso – Cristais formando rosas do deserto – Imagens e espectro obtidos por MEV	80
Figura 4.27: Crosta negra – Gesso, poeiras silicatadas e colonização biológica – Imagens obtidas por MEV	81
Figura 4.28: Crosta negra – Cinzas volantes – Imagens e espectros obtidos por MEV	82
Figura 5.1: Granito do Porto – Valores de N_{48} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	90
Figura 5.2: Granito do Porto – Valores de d obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	94

Figura 5.3: Correlação linear obtida entre N_{48} e d para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	94
Figura 5.4: Correlação linear negativa entre d e N_{48} de perfis de meteorização do granito do Porto e de pedras de granito do Porto empregue em monumentos e edifícios	95
Figura 5.5: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P1.1 associada ao tarolo MVP C1, recolhido em pedra com desagregação granular inexistente a fraca	97
Figura 5.6: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P7.1 associada ao tarolo MVP C7, recolhido em pedra com desagregação granular inexistente a fraca	97
Figura 5.7: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P6.1 associada ao tarolo MVP C6, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade forte.....	98
Figura 5.8: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P3.2 associada ao tarolo MVP C3, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas	99
Figura 5.9: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P3.1 associada ao tarolo MVP C3, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas	99
Figura 5.10: Granito do Porto – Valores de N_{Hg} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos.....	102
Figura 5.11: Granito do Porto – Valores de N_{μ}/N_{Hg} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos.....	105
Figura 5.12: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do provete MVP C1.1	111
Figura 5.13: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do provete MVP C6.1	111
Figura 5.14: Granito do Porto – Valores do coeficiente de capilaridade A obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos.....	114
Figura 5.15: Correlação polinomial positiva obtida entre A e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	115
Figura 5.16: Correlação potencial obtida entre A e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos de granito do Porto	116
Figura 5.17: Granito do Porto – Valores do coeficiente de capilaridade B obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos.....	118
Figura 5.18: Correlação polinomial positiva obtida entre B e N_{48} no granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	119
Figura 5.19: Correlação potencial positiva entre N_{48} e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto	120
Figura 5.20: Correlação logarítmica positiva obtida entre os coeficientes de capilaridade A e B para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	121
Figura 5.21: Correlação potencial positiva obtida entre A e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto	122
Figura 5.22: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C3.1	123
Figura 5.23: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C1.3	123

Figura 5.24: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C6.2	124
Figura 5.25: Granito do Porto – Valores do q obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	126
Figura 5.26: Correlação logarítmica obtida entre q e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	127
Figura 5.27: Correlação linear obtida entre q e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues em edifícios e monumentos.....	128
Figura 5.28: Granito do Porto – Valores do S_c obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	130
Figura 5.29: Correlação exponencial negativa obtida entre S_c e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto.....	130
Figura 5.30: Correlação potencial obtida entre S_c e N_{48} para edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto.....	131
Figura 5.31: Granito do Porto – Valores do t_{Sc} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	133
Figura 5.32: Correlação polinomial obtida entre t_{Sc} e N_{48} para o granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto.....	133
Figura 5.33: Correlação potencial positiva obtida entre t_{Sc} e N_{48} para edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto.....	134
Figura 5.34: Granito do Porto – Valores de v obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	136
Figura 5.35: Correlação logarítmica negativa obtida entre v e N_{48} no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto	137
Figura 5.36: Correlação logarítmica negativa obtida entre v e N_{48} para perfis de meteorização e pedras granito do Porto empregues em edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto	138
Figura 5.37: Granito do Porto – Valores de σ_{max} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos	140
Figura 5.38: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{max} e N_{48} no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto	141
Figura 5.39: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{max} e N_{48} em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e Museu do Vinho do Porto	142
Figura 5.40: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{max} e N_{48} em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas no Hospital de Santo António e Igreja de Santa Maria de Leça.....	142
Figura 5.41: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso -2 – Muro de suporte – Lado esquerdo	144
Figura 5.42: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso -1	145

Figura 5.43: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 0	146
Figura 5.44: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Norte – Piso 0 – Vão central.....	147
Figura 5.45: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Fachada Sul – Piso 1 – Vão esquerdo – Ombreira esquerda.....	148
Figura 5.46: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 1	149
Figura 5.47: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 3.....	150
Figura 5.48: Resultados dos ensaios em cada tarolo, provete e amostra de porosímetro.....	155
Figura 5.49: Classificação qualitativa dos resultados dos ensaios em cada tarolo	158

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Amostras recolhidas no Museu do Vinho do Porto	31
Tabela 3.2: Tarelos recolhidos no Museu do Vinho do Porto	34
Tabela 3.3: Designações, profundidades, e dimensões dos 22 provetes cilíndricos, das amostras para porosímetro e das tampas.....	37
Tabela 4.1: Desagregação granular – Localização das amostras e minerais de sais solúveis identificados por MEV	51
Tabela 4.2: Plaqueta afetada por desagregação granular de intensidade muito forte – Minerais de sais solúveis identificados por MEV	69
Tabela 4.3: Eflorescência fluffy – Minerais de sais solúveis identificados por MEV.....	73
Tabela 4.4: Eflorescências pulverulentas – Minerais de sais solúveis identificados por MEV	76
Tabela 4.5: Crosta negra – Minerais de sais solúveis identificados por MEV	79
Tabela 5.1: Resultados do ensaio de determinação da porosidade livre às 48 horas (N_{48}).....	87
Tabela 5.2: Valores limites de N_{48} em perfis de meteorização de granitos e pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal	88
Tabela 5.3: Resultados do ensaio de determinação da densidade aparente (d)	91
Tabela 5.4: Valores limites de d em perfis de meteorização de granitos e em pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal	92
Tabela 5.5: Correlações lineares negativas entre N_{48} e d em perfis de meteorização de granito do Porto e/ou pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto	95
Tabela 5.6: Resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio	96
Tabela 5.7: Resultados obtidos para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos em Portugal	100
Tabela 5.8: Razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) para perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos de Portugal.....	103
Tabela 5.9: Valores limite das aberturas de acesso das principais famílias de fissuras de perfis de meteorização e pedras de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal.....	106
Tabela 5.10: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	110
Tabela 5.11: Valores limite do coeficiente de capilaridade A em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal.....	112
Tabela 5.12: Correlações entre N_{48} e A em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto	115
Tabela 5.13: Valores limite do coeficiente de capilaridade B em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal.....	116
Tabela 5.14: Correlações entre N_{48} e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto.....	120

Tabela 5.15: Correlações entre os coeficientes de capilaridade A e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto.....	121
Tabela 5.16: Resultados do ensaio de evaporação	122
Tabela 5.17: Valores limite de q em granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal ..	125
Tabela 5.18: Correlações entre q e N_{48} em monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto	127
Tabela 5.19: Valores limite da saturação crítica, S_c , em granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal	129
Tabela 5.20: Correlações entre S_c e N_{48} em monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto	131
Tabela 5.21: Valores limite do tempo de saturação crítica, t_{sc} obtida em monumentos e edifícios de Portugal.....	132
Tabela 5.22: Correlações obtidas entre t_{sc} e N_{48} em monumentos e edifícios construídos com granito do Porto	134
Tabela 5.23: Resultados do ensaio da determinação da velocidade de propagação dos ultrassons (v)	135
Tabela 5.24: Resultados de v em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto usadas em edifícios e monumentos.....	136
Tabela 5.25: Correlações obtidas entre v e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos	137
Tabela 5.26: Resultados da tensão de rotura (σ_{max}) obtidos no ensaio à compressão uniaxial.....	139
Tabela 5.27: Resultados da resistência à compressão uniaxial (σ_{max}) em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos	140
Tabela 5.28: Correlações obtidas para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos.....	141
Tabela 5.29: Intervalos de referência para a resistência à compressão uniaxial determinada a partir do ensaio com o esclerómetro de Schmidt (Madureira, 2008).....	143
Tabela 5.30: Resistência à compressão uniaxial obtida pelo esclerómetro de Schmidt e intensidades de desagregação granular atribuídas pela cartografia das deteriorações e pelo esclerómetro de Schmidt.....	151
Tabela 5.31: Tratamento estatístico dos resultados obtidos com o esclerómetro de Schmidt	153
Tabela 5.32: Resultados dos ensaios realizados no edifício do Museu do Vinho do Porto	154
Tabela 5.33: Causas das deteriorações observadas no granito do Porto do Museu do Vinho do Porto	159

Símbolos, Acrónimos e Abreviaturas

A – Coeficiente de capilaridade A: peso por unidade de superfície e unidade de raiz quadrada do tempo ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$)

B – Coeficiente de capilaridade B: ascensão da franja capilar por unidade de raiz quadrada do tempo ($\text{cm.h}^{-1/2}$)

d – Densidade aparente

d_a – Diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras ou poros (μm)

h – Altura dos provetes (m)

L – Altura da franja capilar

N_μ - Microporosidade: fissuras/poros com abertura/diâmetro inferior a $7,5 \mu\text{m}$ (%)

N_{48} – Porosidade livre às 48 horas (%)

N_{Hg} – Porosidade total ao mercúrio (%)

N_M – Macroporosidade: fissuras/poros com abertura/diâmetro superior a $7,5 \mu\text{m}$ (%)

q – Fluxo de evaporação ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)

R – Valor do ressalto no esclerómetro de Schmidt

S_c – Saturação crítica (%)

t_{Sc} – Tempo de saturação crítica (h)

v – Velocidade de propagação dos ultrassons (m/s)

V – Volume (cm^3)

W_0 – Peso seco de um provete (g)

W_{48} – Peso dos provetes após um período de imersão gradual de 48 horas (g)

σ_{max} – Tensão de rotura à compressão ou resistência à compressão uniaxial (MPa)

CEMUP – Centro de Materiais da Universidade do Porto

CNRS – Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg do Centre National de la Recherche Scientifique

CRAT – Centro Regional de Artes Tradicionais

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GOP – Gabinete de Organização e Projectos, Lda da Câmara Municipal do Porto

INEGI – Instituto de Ciências e Inovação em Engenharia -Mecânica e Engenharia Industrial

IPNled&mat – Laboratório de ensaios, desgaste e materiais do Instituto Pedro Nunes

LEMC – Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção

MEV – Microscópio eletrónico de varrimento

1

INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação vem na sequência de um trabalho pedido pelo Gabinete de Organização e Projectos, Lda da Câmara Municipal do Porto (GOP) ao Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) sobre a resistência da pedra no Museu do Vinho do Porto a instalar nos números 33 e 37 da Rua da Reboleira.

Assim, nesta dissertação, procedeu-se não só à avaliação da resistência à compressão uniaxial do granito do Porto como ao estudo petrofísico e mineralógico das deteriorações da pedra de construção do edifício.

Os valores obtidos dos ensaios petrofísicos e mecânicos foram comparados com os obtidos na bibliografia existente sobre trabalhos realizados em perfis de meteorização e pedras de granito de edifícios e monumentos de Portugal.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios petrofísicos e mecânicos realizados neste trabalho foram ainda correlacionados entre si e com os obtidos na bibliografia existente sobre trabalhos realizados em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues em edifícios e monumentos.

1.2. O EDIFÍCIO DA RUA DA REBOLEIRA

1.2.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício situa-se entre a Rua da Reboleira, números 33 a 37, e o Muro dos Bacalhoeiros, números 134 a 138. Este tem acesso à Rua da Reboleira pelo piso 0 e ao Muro dos Bacalhoeiros pelo piso -1 (Figura 1.1). É constituído por seis andares (piso -2, piso -1, piso 0, piso 1, piso 2 e piso 3), sendo todos os pisos amplos.

A Figura 1.2 mostra os alçados das fachadas da Rua da Reboleira (Fachada Norte) e do Muro dos Bacalhoeiros (Fachada Sul) e a Figura 1.3 as plantas dos seis andares.



Figura 1.1: Mapa com a localização do edifício do Museu do Vinho do Porto (Google Earth, 2017)



Figura 1.2: Alçado das fachadas Sul e Norte do edifício da Rua da Reboleira

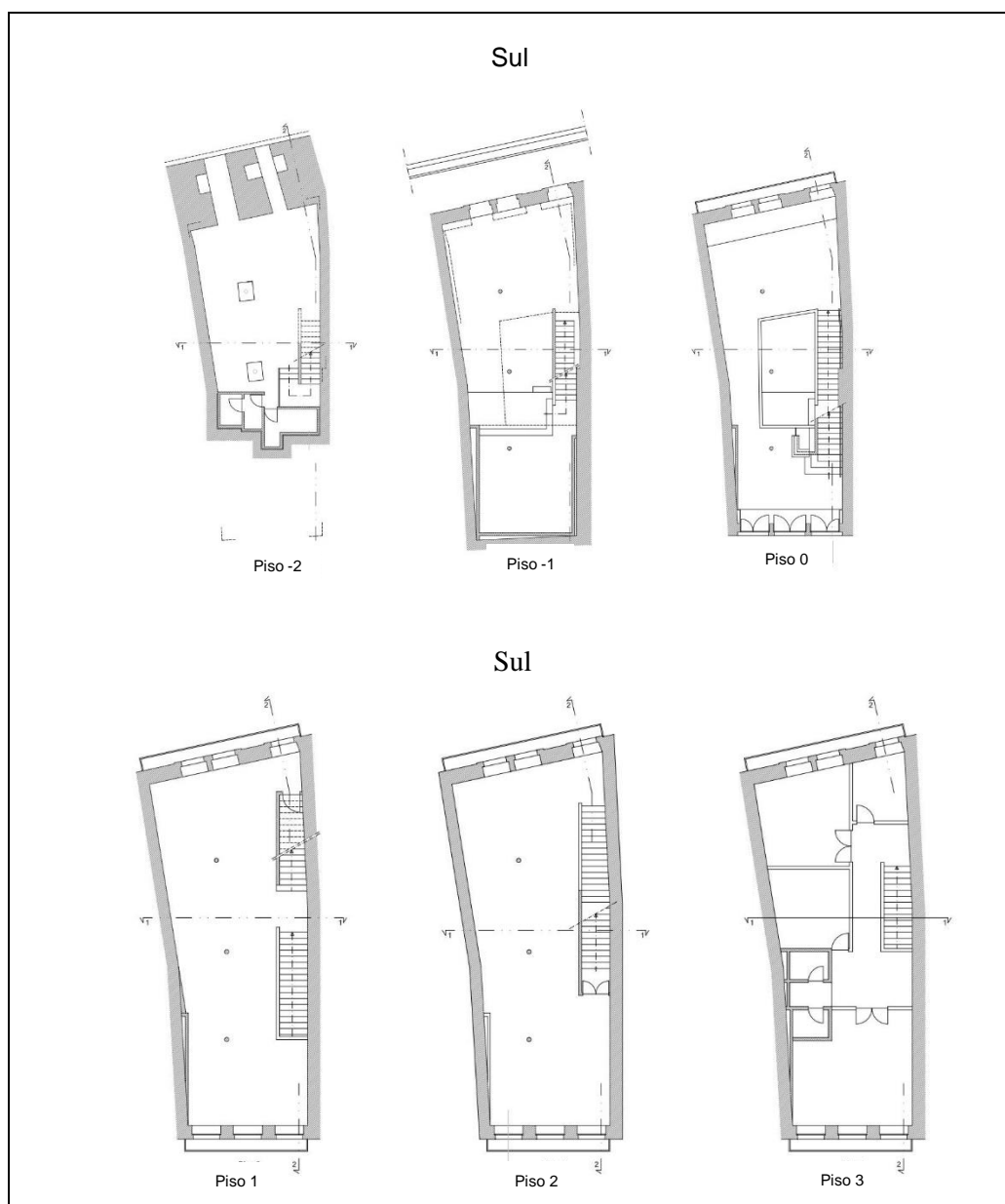


Figura 1.3: Planta dos seis andares do edifício da Rua da Reboleira

1.2.2. A RUA DA REBOLEIRA

A Rua da Reboleira é um arruamento bastante antigo da cidade do Porto. Segundo Freitas (1999) encontram-se mencionada em empraçamentos de 1424, 1437, 1476 e num outro de 1476.

Os edifícios altos e a estreiteza da rua são características da Rua da Reboleira (Figura 1.4). Os edifícios têm cerca de 3 a 4 pisos de altura e, segundo Machado (1987), as suas fachadas são setecentistas. O Arquiteto Luís Maria Aguiar Branco, por comunicação oral, data a fachada do Museu do Vinho do Porto entre 1760 a 1780.



Figura 1.4: Fachadas dos edifícios da Rua da Reboleira (2017/06/19)

1.2.3. A HISTÓRIA DO EDIFÍCIO

O edifício foi construído sobre um muro de suporte adjacente à Muralha Fernandina, na fachada Sul, conforme pode ser observado após picagem da argamassa existente no piso -2 (Figura 1.5). O muro de suporte foi unido à Muralha Fernandina através de gatos (Figura 1.5c), suportando assim uma parte das cargas do edifício.

O Muro dos Bacalhoeiros é um local de circulação de peões sobre o topo da Muralha Fernandina. Esta, com aproximadamente 2,60 m de espessura junto ao edifício do Museu do Vinho do Porto, foi mandada erguer em 1336 por D. Afonso IV, após dois fidalgos galegos terem descido das suas terras até às portas do Porto com o intuito de tomarem a cidade, aquando a guerra com Castela. Contudo, a Muralha Fernandina, que circunda o burgo portugalense, só ficou concluída em 1374, no reinado de D. Fernando.

Na fachada Norte o edifício foi fundado sobre um maciço rochoso de pedra.



a) 2016/12/14 – Início da picagem da argamassa de cimento no muro de suporte



b) 2017/05/19 – Muro de suporte após picagem



c) 2017/02/20 – Gatos que unem o muro de suporte à Muralha Fernandina



d) 2017/02/20 – Gatos que unem o muro de suporte à Muralha Fernandina

Figura 1.5: Muro de suporte e Muralha Fernandina existentes no interior do edifício no piso -2

Até aos dias de hoje, o edifício serviu para bastantes fins e, consequentemente, sofreu alterações de acordo com essas necessidades.

O primeiro fim que se conhece, consistiu em servir de Armazém de Bacalhau como comprovam os documentos que constam no Arquivo Municipal do Porto apresentados no Anexo A1. Nos documentos, é referido que a 6 de fevereiro de 1919, Domingos Gonçalves de Sá & Filhos, estabelecidos na Rua de S. João nº 116, pede autorização para transformar a casa de habitação da Rua de Reboleira nº 33 a 37 e o Cimo do Muro nº 134 a 138 em armazém de depósito de bacalhau através do pedido de licença de obra nº 81/119 (Arquivo Municipal do Porto, 1919).

Este pedido refere ainda um conjunto de obras a realizar no edifício nomeadamente: *“Os compartimentos existentes são todos demolidos, sualhandosse de novo e substituindosse algumas traves, ficando todos os pavimentos amplos. A escada é construída de novo e os tapamentos correspondentes a esta para evitar a comunicação directa nos diversos andares, como se vê nos desenhos a carmim. Serão colocadas duas vigas em ferro I de 0,30 m dalto em sentido longitudinal, em comprimentos de 4,35 m e emendados no prumo das colunas levando trez em cada pavimento, oferecendo assim 4200 kilos por metro quadrado de pavimento – resistencia superior à que é preciso em vista dos bons travejamentos de castanho que ali existem”*.

O pedido é deferido em 20 de fevereiro de 1919 conforme o Registo 644 de 1919/02/21 (Arquivo Municipal do Porto, 1919). A respetiva Guia de entrada de depósito número 88, no valor de 5\$00, é passada a 13 de março de 1919 (Arquivo Municipal do Porto, 1919).

Nesse intervalo de tempo, o edifício tinha espaços amplos, desprovidos de divisões e prontos a arrecadar, respeitando assim as exigências de funcionalmente impostas (Machado, 1985).

Posteriormente, Machado (1985), referenciando o Arquiteto Furtado de Mendonça, refere que o edifício foi alugado a uma senhora conhecida como Rosa “Padeira” que, entre as décadas de 40 e 50, subalugava o edifício, sobrelotando-o. Assim, a casa perdeu os seus espaços amplos e ganhou interiores compartimentados a tabique.

Após este período, o edifício ficou abandonado, até a Câmara Municipal do Porto o ter adquirido.

Em 1985, a história do número 37 da Rua da Reboleira cruza-se com a história recente do Centro Regional de Artes Tradicionais, CRAT, servindo de sede para o mesmo.

Em 2010 o governo decide terminar o CRAT, ficando o edifício desocupado até 2016, altura em que se iniciaram as obras para o futuro Museu do Vinho do Porto (Jornal de Notícias, 2010).

A pedra utilizada na sua construção foi o granito do Porto.

Nas juntas, utilizaram-se argamassas de cal e “tacos” de ardósia com o propósito de distribuir as cargas entre as pedras e, simultaneamente, proporcionar uma maior deformabilidade das mesmas, no caso de pequenos movimentos/oscilações entre pedras adjacentes.

A Figura 1.6 mostra exemplos do emprego de “tacos” de ardósia com diferentes dimensões em juntas dos pisos 1 e -2.

Durante o século XX, empregaram-se argamassas de cimento de composições diversas nas juntas, em fissuras e fendas resultantes da oxidação das dobradiças das janelas e/ou portas, bem como em situações de reintegração volumétrica de pedras muito deterioradas. Além disso, procedeu-se ao revestimento quase integral da fachada exterior orientada a Sul.

A prática corrente do emprego errado de argamassas de cimento, resultou no acréscimo de intensidade da deterioração da pedra e na velocidade de perda de material.



a) 2017/05/18 – “Tacos” de ardósia de menor espessura em ombreira do piso 1



b) 2016/12/14 – “Tacos” de ardósia de menor espessura em ombreira do piso 1



c) 2017/05/19 – “Taco” de ardósia de grandes dimensões em pilar do piso -2



d) 2017/05/19 – “Taco” de ardósia de grande espessura em pilar do piso -2

Figura 1.6: Aplicação de “tacos” de ardósia em juntas do edifício do Museu do Vinho do Porto

1.3. O GRANITO DO PORTO

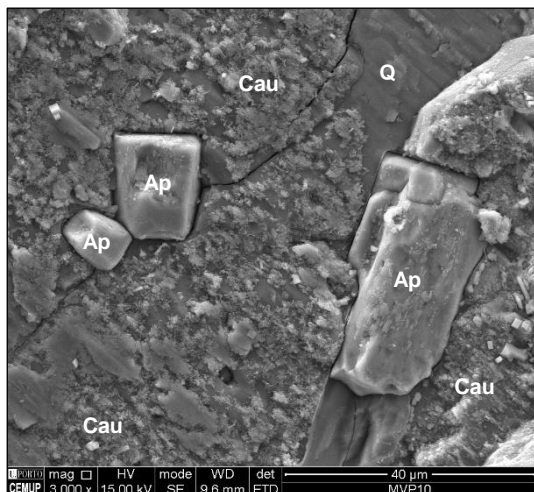
A utilização do granito do Porto como material de construção data provavelmente, segundo Real *et al.* (1985-86), do século II a.C. Em escavações arqueológicas realizadas no morro da Sé, encontraram, no mesmo local, uma sucessão de construções. Sobre uma cabana de madeira acharam, a cotas diferentes, três casas construídas com pedras de granito do Porto. A mais antiga, redonda e constituída por pedra muito miúda, é pré-romana, provavelmente do século II a.C. Sobre esta casa, foi construída uma outra, redonda com átrio ou alpendre de planta na forma das patas de caranguejo, constituída por pedras de porte mediano, coeva dos primeiros contactos com a civilização romana da segunda metade do século I a.C. ou mesmo da centúria anterior. A terceira casa, mais recente, é retangular de cantos redondos, constituída por grandes blocos irregulares de pedra ajustados por outros de menor porte. É lajeada no seu interior, sendo contemporânea do século I d.C., coincidindo com um período de intensa romanização. Parte desta casa foi demolida no século III d.C. para a construção da primeira cerca defensiva, anterior ao período de dominação suévica. A construção desta cerca está relacionada com a crise do século III, resultante da movimentação de povos bárbaros no interior das fronteiras do Império Romano, que levou à fortificação das cidades, tendo-se erguido apressadamente cercas amuralhadas com reaproveitamento de materiais e o sacrifício de edifícios pré-existentis.

Desde então e até meados do século XX, o granito do Porto foi utilizado intensivamente na construção de edifícios e monumentos. Nos séculos XVIII e XIX estavam em plena atividade grande número de pedreiras no denominado Monte Pedral que corresponde atualmente à área delimitada pelas Ruas da

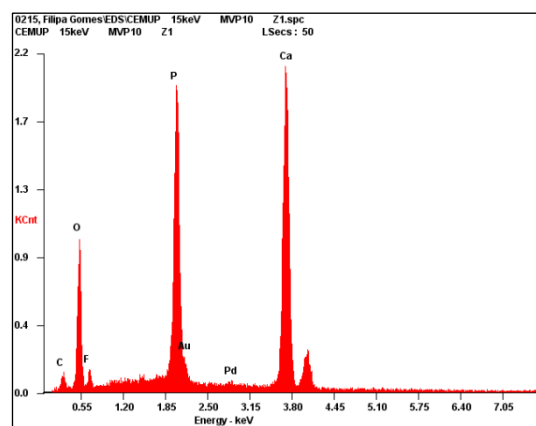
Constituição, do Almirante Leote do Rego, de S. Dinis e de Serpa Pinto. Essas pedreiras forneceram as pedras utilizadas nas construções de setecentos e oitocentos, correspondendo a um período de grande desenvolvimento urbanístico da cidade.

O granito do Porto aflora em grande parte da cidade do Porto, estendendo-se ainda para os concelhos de Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Maia, contactando a Este com o Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico e a Oeste com o Complexo Metamórfico da Foz do Douro. Situa-se na Zona Centro-Ibérica próximo da sutura com a Zona de Ossa Morena. Relativamente à fase F3 da deformação Hercínica, Noronha *et al.* (1979) e Ferreira *et al.* (1987) consideram-no como um granito sin-tectónico. O estudo geocronológico U-Pb sobre frações de monazite e de zircão realizado por Almeida (2001) permitiu obter uma idade mínima de 318 ± 2 Ma para a instalação do granito do Porto.

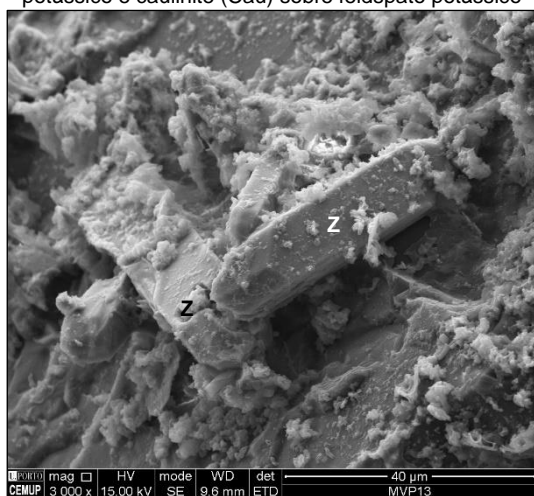
O granito do Porto é um granito de grão médio de duas micas constituído por quartzo, microclina (Or 92,8 %, Ab 5,7 %, An 1,5 %), plagioclase (Or 0,7 %, Ab 90,3 %, An 9,0 %), moscovite e biotite, com textura hipidiomórfica granular, por vezes com tendência porfiroide. Quando não meteorizado, apresenta cor cinzenta clara e aspeto muito homogéneo. A moscovite é a mica dominante e a microclina é frequentemente pertítica. Os minerais acessórios são a apatite (Figuras 1.7a e 1.7b), zircão (Figura 1.5c), silimanite (fibrolite), monazite e rútilo. (Begonha, 1997, 2001).



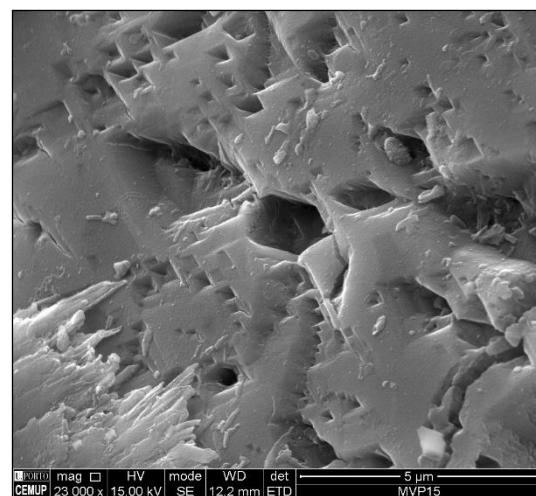
a) MVP 10 – Apatite (Ap) incluída em quartzo (Q) e feldspato potássico e caulinite (Cau) sobre feldspato potássico



b) MVP 10 – Apatite – Espectro



c) MVP 13 – Dois cristais de zircão (Z)



d) MVP 15 – Plagioclase meteorizada

Figura 1.7: Granito do Porto – Apatite, zircão e plagioclase meteorizada – Imagens e espectros obtidos por microscópio eletrónico de varrimento (MEV)

O granito do Porto foi submetido a alteração tardi-a pós-magmática, caracterizada pela presença de várias gerações de micas dioctaédricas, de clorite, de raros interestratificados clorite/esmectite e de uma fase esmectítica pura (Begonha, 1997, 2001).

Begonha (1997, 2001) refere que o granito do Porto aparece sempre mais ou menos meteorizado à superfície, tendo pela primeira vez estudado amostras de rocha sã, obtidas na antiga Pedreira da Trindade, a cerca de 20 m e 12 m abaixo da cota da rua dos Heróis e Mártires de Angola.

A frente de meteorização atinge em muitos locais profundidades superiores a vinte metros, sendo as características mais marcantes dos perfis a preservação da estrutura original da rocha, a sua heterogeneidade e a grande variabilidade da espessura das arenas.

A meteorização do granito do Porto, estudada em diversos perfis, é essencialmente esquelética. A preservação da estrutura original do granito do Porto mantém-se mesmo nas arenas de topo dos perfis, onde as perdas totais médias de material são de 41 % relativamente à rocha sã.

A heterogeneidade da meteorização manifesta-se pelo aparecimento de perfis muito variados desde a base até ao topo. Ocorrem perfis com rocha compacta (de grau W3) na base e arenas (de grau W4) no topo; perfis onde ocorre exatamente o inverso e perfis de arenas com blocos de rocha (de grau W3) no seu seio. Do ponto de vista geotécnico, as arenas são solos residuais não plásticos ou de baixa plasticidade ($IP \leq 12\%$), maioritariamente bem graduados, contendo percentagem média significativa de finos (29,5 %) e pequena percentagem média da fração $< 2\ \mu\text{m}$ (6,2 %), confirmando assim o carácter esquelético da meteorização.

A variação da espessura das arenas é patente em muitos locais onde, a poucos metros da rocha meteorizada compacta aflorante, surgem arenas com nove ou mais metros de possança (Begonha, 1997, 2001).

O processo de meteorização dos granitos da região Noroeste de Portugal, designadamente do granito do Porto, conduz à formação dos minerais secundários haloisite, gibsite e caulinite (Figura 1.8). Estes dois minerais são representativos de um elevado grau de evolução mineralógica, constituindo os produtos finais de meteorização dos feldspatos (Figura 1.7d), biotite e moscovite (Begonha 1997, 2001, Begonha e Sequeira Braga, 2002, Sequeira Braga *et al.*, 2002). A percentagem média de minerais secundários é muito baixa, sendo em média de 2,4% na rocha meteorizada compacta e 8,7% nas arenas com a estrutura original conservada correspondentes às fases mais avançadas do processo de meteorização.

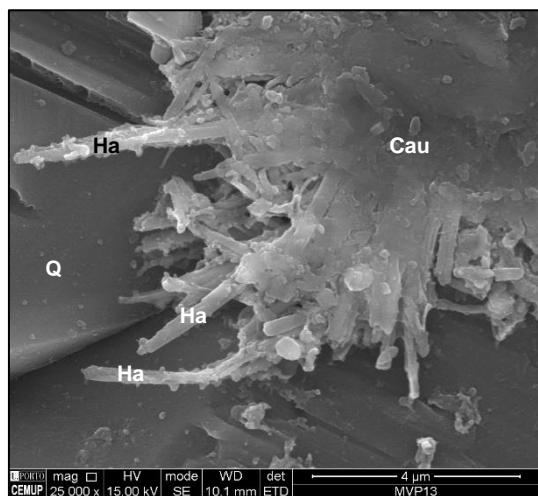
A maior parte dos monumentos e edifícios graníticos da cidade do Porto apresenta um estado avançado de deterioração da pedra que advém principalmente da conjunção de quatro fatores: do estado de meteorização inicial das pedras graníticas utilizadas na construção herdado das pedreiras, da proximidade do Oceano Atlântico, da utilização generalizada de argamassas de cimento Portland em juntas e da poluição atmosférica.

A desagregação granular e os filmes negros constituem as deteriorações mais frequentes nos monumentos e edifícios graníticos da cidade do Porto.

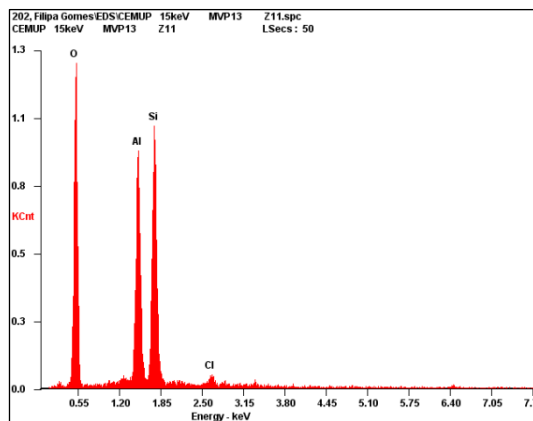
A desagregação granular está ligada à presença de sais muito solúveis que precipitam nas fissuras mais finos e, em particular, nos pontos de contacto entre os grãos e nos estrangulamentos da rede porosa. A precipitação destes sais dá-se sob fortes concentrações das soluções naturais por evaporação, desenvolvendo pressões de cristalização muito elevadas que conduzem ao desengaste dos grãos.

Os filmes negros recobrem sobretudo zonas expostas das fachadas não sujeitas a forte escorrência. Caracterizam-se por uma grande complexidade mineralógica e morfológica, sendo constituídos por uma

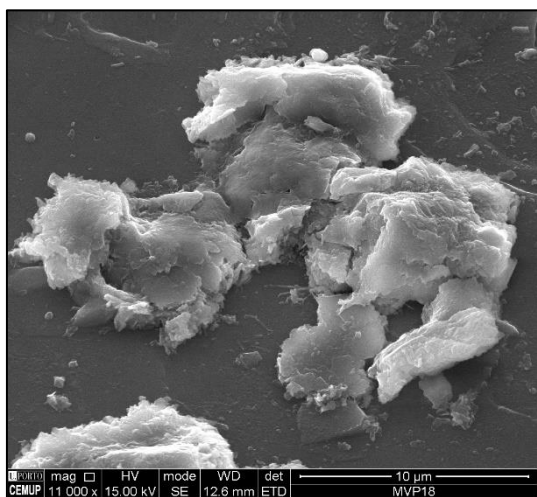
enorme quantidade de partículas de reduzida dimensão agregadas por uma matriz de material homogêneo de natureza amorfa.



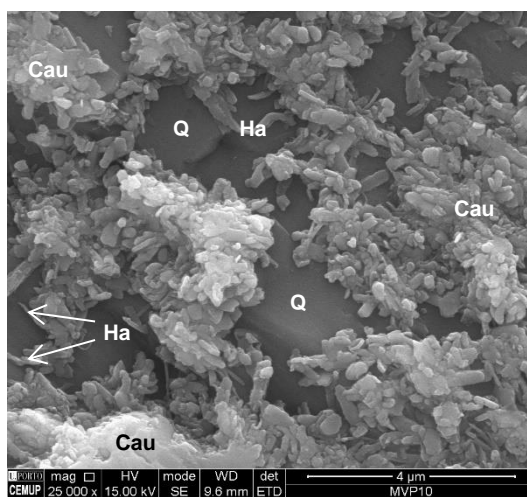
a) MVP 13 – Caulinite (Cau) e haloisite (Ha) sobre quartzo (Q)



b) MVP 13 – Caulinite – Espectro



c) MVP 18 – Caulinite sobre quartzo



d) MVP 10 – Caulinite (Cau) e haloisite (Ha) sobre quartzo (Q)

Figura 1.8: Granito do Porto meteorizado – Caulinite e haloisite – Imagens e espectro obtidos por MEV

De entre os trabalhos de diagnóstico, limpeza, conservação e recuperação de monumentos construídos com granito do Porto, podem enumerar-se os de Castro *et al.* (1988, 1991a, 1991b), Begonha e Sequeira Braga (1993, 1996a, 1996b), Begonha *et al.* (1994), Delgado Rodrigues *et al.* (1994), Begonha *et al.* (1995, 1996), Vicente (1996), Sequeira Braga *et al.* (1996), Begonha (1997, 2001, 2005, 2006, 2009b, 2009c, 2012), Teles e Begonha (1999), Begonha e Teles (2000), Moutinho (2005), Madureira (2008), Sousa (2009), Resende (2010), Begonha *et al.* (2011).

2

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA E CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES

2.1. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES

2.1.1. INTRODUÇÃO

Neste subcapítulo apresentam-se as formas de deterioração da pedra no edifício do Museu do Vinho do Porto, na Rua da Reboleira.

A classificação das deteriorações teve em atenção o Glossário Ilustrado das Formas de Deterioração da Pedra do *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS, 2016).

A descrição de cada uma das deteriorações é acompanhada de figuras que pretendem clarificar o conteúdo do texto.

No edifício, observaram-se principalmente quatro tipos de deteriorações: desagregação granular, plaquetas, eflorescências e crostas negras.

2.1.2. DESAGREGAÇÃO GRANULAR

A desagregação granular caracteriza-se pelo aumento da rugosidade das superfícies devido à presença de grãos minerais salientes, resultantes do desengaste dos grãos por ação das forças de cristalização de minerais de sais solúveis e consequente perda de material (Figuras 2.1 e 2.2).

A desagregação granular conduz ao arredondamento das arestas, ao adoçamento das formas e à perda de pormenores de cantarias e esculturas (Figuras 2.1 e 2.2). Em situações de deterioração severas, verifica-se a queda abundante de material de granulometria arenosa por gravidade ou pelo simples toque nas superfícies afetadas, originando o recuo da superfície das pedras (Figuras 2.1b, 2.1c, 2.1e, 2.1f, 2.2a, 2.2b e 2.2c).

No interior do Museu do Vinho do Porto, a desagregação granular está principalmente associada a zonas em contacto, adjacentes ou próximas dos locais de armazenamento e transporte do bacalhau conservado com sais, como é o caso do piso 0 e piso -1.



a) Piso 1



b) Piso 1



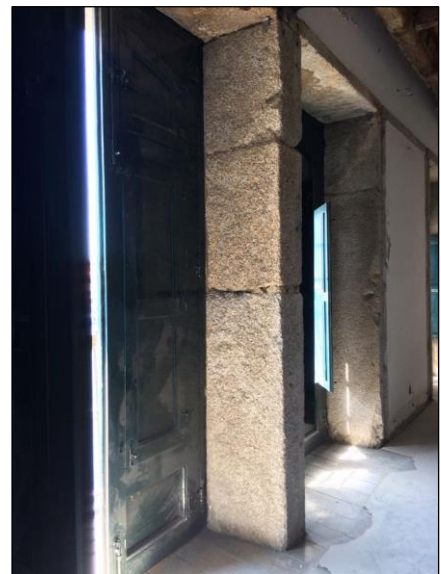
c) Piso -1



d) Piso -1 – Amostra MVP 13



e) Piso -1 – Amostra MVP 13



f) Piso 2

Figura 2.1: Desagregação granular – Interior do Museu do Vinho do Porto – Fachada Sul – Adoçamento das formas e arestas, aumento da rugosidade das superfícies, perda e queda de material pétreo por gravidade



a) Adoçamento das arestas, rugosidade das superfícies e queda de material por gravidade

b) Rugosidade das superfícies e queda de material pétreo por gravidade

c) Rugosidade das superfícies e queda de material pétreo por gravidade



d) Adoçamento das arestas, aumento da rugosidade das superfícies e perda de material pétreo (Amostra MVP 10)



e) Adoçamento das arestas, aumento da rugosidade das superfícies e perda de material pétreo

Figura 2.2: Desagregação granular – Fachada Norte – Interior – Piso 0

O exterior da fachada Sul, voltada para o rio Douro, está exposta aos nevoeiros salinos, chuva e vento, pelo que o granito do Porto apresentava forte deterioração, nomeadamente desagregação granular, frequentemente muito intensa (Figuras 2.3a, 2.3b, 2.3c e 2.3d). No piso -1, para além da exposição aos elementos climáticos, procedia-se à descarga do bacalhau a partir do Muro dos Bacalhoeiros, contribuindo ainda mais para a forte deterioração do granito do Porto. Em consequência destes factos, a fachada Sul foi em grande parte revestida por argamassas de cimento, as quais contribuíram cumulativamente para a deterioração da pedra (Figuras 2.3a, 2.3b e 2.3c). No exterior do piso -1 da fachada orientada a Sul para o rio Douro, verificou-se em dois pontos a queda de fragmentos de argamassas de dimensões apreciáveis, conforme é possível observar nas Figuras 2.3a, 2.3b e 2.3c. No piso 1, a desagregação granular não é tão intensa, conforme se pode constatar na ombreira esquerda do vão esquerdo (Figura 2.3d).



Figura 2.3: Desagregação granular – Exterior

Nas fachadas exteriores Norte e Sul do Museu do Vinho do Porto a desagregação granular aparece normalmente associada a áreas com as seguintes características:

- Zonas húmidas não lixiviadas, localizadas nas áreas submetidas à ascensão por capilaridade de soluções salinas, a partir do pavimento/solo (Figuras 2.3a, 2.3b, 2.3c, 2.3e e 2.3f);
- Zonas de forte exposição à chuva ou a nevoeiros salinos (Figuras 2.3a, 2.3b, 2.3c e 2.3d);
- Zonas em que houve revestimento do granito com argamassas de cimento com o intuito de as proteger (Figuras 2.3a, 2.3b e 2.3c);
- Zonas adjacentes a juntas onde foram utilizadas argamassas de cimento.

2.1.3. PLAQUETAS

As plaquetas caracterizam-se por acompanharem a superfície exterior das pedras, sendo delimitadas por duas superfícies paralelas, em geral não muito bem definidas. Estendem-se habitualmente por áreas inferiores a um centímetro quadrado, atingindo frequentemente no Museu do Vinho do Porto vários centímetros quadrados (Figura 2.4).

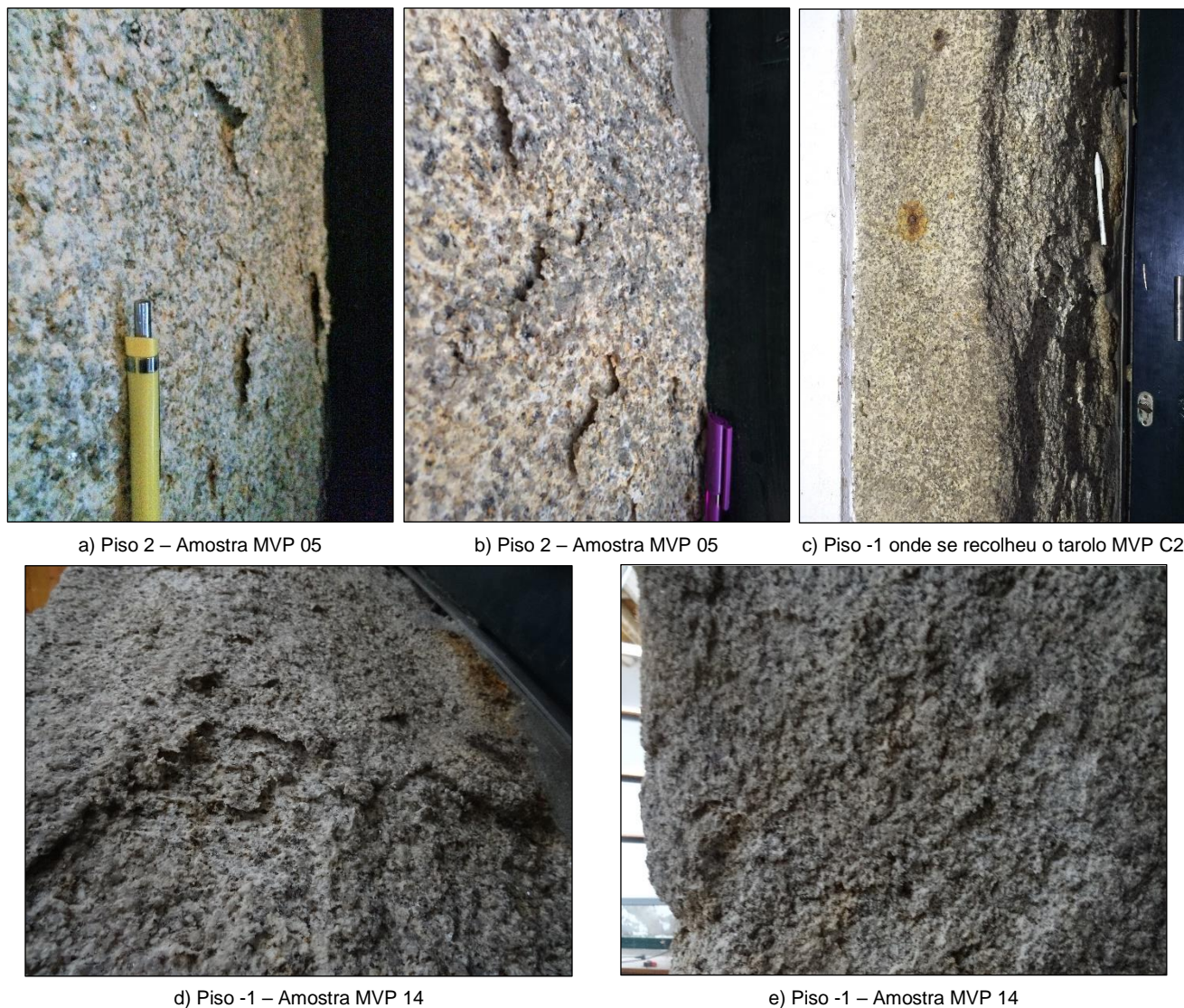


Figura 2.4: Plaquetas – Interior do Museu do Vinho do Porto– Fachada Sul

Constituem formações pouco espessas, não ultrapassando normalmente 1 mm a 3 mm. As plaquetas são quase sempre pouco duras e pouco compactas. Apresentam-se usualmente afetadas por desagregação granular, pelo que a sua resistência mecânica é muito baixa.

Durante a sua evolução, as plaquetas vão progressivamente destacando-se da pedra, acabando por se separar e cair, deixando cicatrizes facilmente reconhecíveis que alternam com zonas onde as plaquetas estão já destacadas, mas ainda não caíram (Figura 2.4).

A face interior da plaqueta (voltada para o interior da pedra) e a zona da pedra de onde a mesma se destacou apresenta, normalmente, material pulverulento e desagregação granular.

As plaquetas resultam da cristalização de minerais de sais solúveis no interior das pedras segundo um plano paralelo à superfície das mesmas.

2.1.4. EFLORESCÊNCIAS

As eflorescências definem-se como o desenvolvimento de cristais de sais solúveis sobre a superfície de meios porosos, designadamente pedras graníticas e argamassas (Figura 2.5).

As eflorescências ocorrem principalmente na parte interior das paredes de salas com elevada humidade relativa do ar. No Museu do Vinho do Porto, as amostras de eflorescências *fluffy* e pulverulentas aparecem apenas sobre argamassas de cimento.

As eflorescências começam por ser do tipo *fluffy*, sendo constituídas por cristais hidratados, muito finos e compridos em forma de pêlo (Figuras 2.5a e 2.5b). Por desidratação, devido a uma diminuição da humidade relativa do ar resultado de uma diminuição da humidade específica ou por aumento da temperatura, envelhecem e transformam-se em eflorescências pulverulentas (Figura 2.5c).



a) Eflorescência *fluffy*
Piso -2 – Amostra MVP 11

b) Eflorescência *fluffy*
Piso -2 – Amostra MVP 11

c) Eflorescência pulverulenta
Piso -2 – Amostra MVP 06

Figura 2.5: Eflorescência *fluffy* e eflorescência pulverulenta

2.1.5. CROSTAS NEGRAS

As crostas negras caracterizam-se pela sua cor cinzenta escura ou negra, por uma pequena espessura, geralmente inferior a 2 mm e, em algumas situações, por superfícies com formas dendríticas, habituais em crostas negras espessas existentes noutros monumentos como o Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001), a Igreja de Nossa Senhora da Lapa (Begonha, 2005), o Mosteiro da Serra do Pilar (Madureira, 2008) e o Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo (Silva, 2012).

Não são formadas por fragmentos das pedras de granito, mas por gesso e depósitos que cobrem as superfícies das mesmas.

As crostas negras formam-se em locais em que a água da chuva molha a pedra por transferência capilar e em que, simultaneamente, estão protegidas da ação direta da chuva. No caso do Museu do Vinho do Porto, formaram-se sob as varandas do piso 2 e 3 (Figura 2.6).



a) varanda sob o piso 2



b) varanda sob o piso 3

Figura 2.6: Crostas negras – Exterior – Fachada Norte

As crostas negras estão associadas à poluição antropogénica do ar, sendo basicamente constituídas por gesso, cinzas volantes carbonosas porosas e uma grande variedade de compostos orgânicos resultantes da queima incompleta dos combustíveis fósseis carvão e petróleo.

2.2. CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES

No que respeita à cartografia das deteriorações, deu-se relevância a locais representativos da deterioração do granito do Porto nos diversos pisos. Os levantamentos foram realizados com apoio fotográfico em todos os locais selecionados, à exceção da ombreira esquerda do vão direito do segundo e terceiro piso, uma vez que não foi possível fotografar a totalidade da ombreira. Nestes casos, recorreu-se a medição com fita métrica e, como ferramenta de auxílio ao desenho, ao programa AutoCAD 2016.

Na realização das cartografias das deteriorações, adotou-se a metodologia proposta e seguida por Fitzner (1990), Fitzner e Heinrichs (1991, 1994), Fitzner *et al.* (1992) e Fitzner *et al.* (1996).

As figuras seguintes (Figuras 2.7 a 2.18) foram editadas no programa AutoCAD 2016.

Todas as pedras estão afetadas por desagregação granular de intensidade forte, representada a vermelho, ou intensidade média, representada a cor de laranja. Algumas pedras exibem, em determinados locais, desagregação granular associada a plaquetas, representadas a violeta.

Fissuras resultantes da oxidação das dobradiças das janelas e/ou portas, algumas com abertura considerável, estão representadas a azul claro. Algumas fissuras encontram-se revestidas por argamassa de cimento.

Nas juntas, as argamassas de cimento estão representadas a cinzento, as argamassas de cal a *beige*, os tacos de ardósia a preto e pequenos fragmentos de tijolos a cor de laranja vivo.

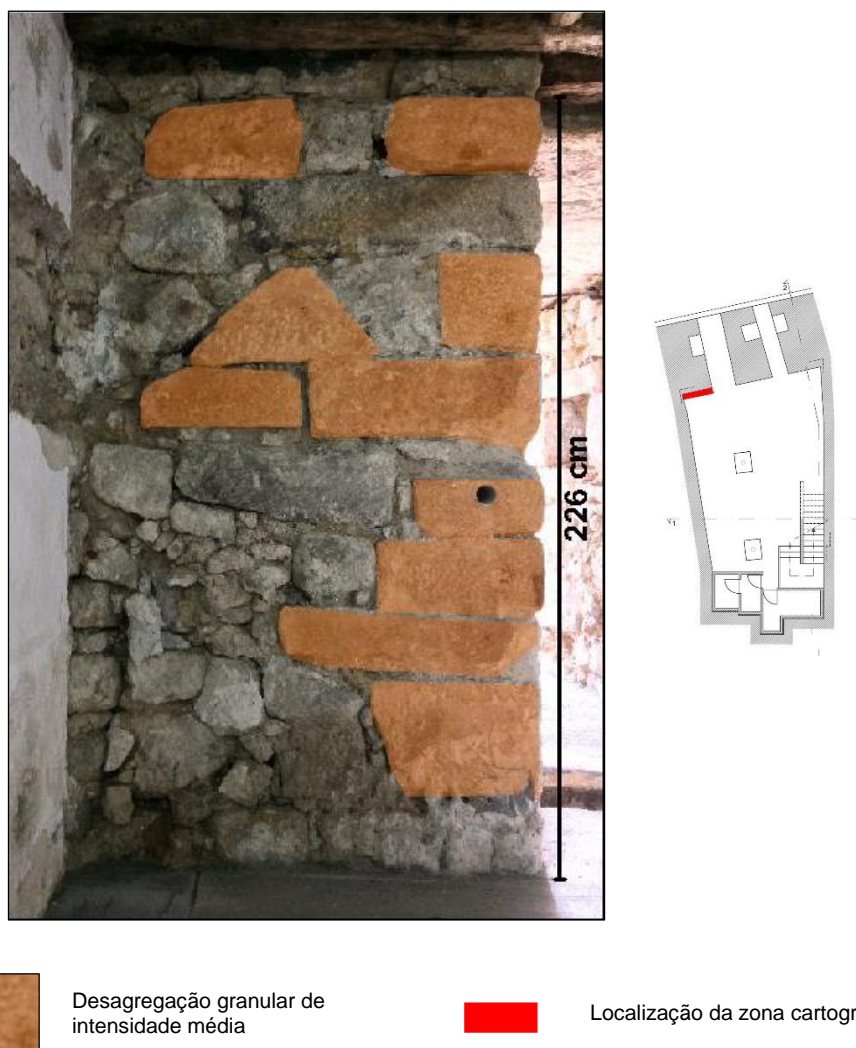


Figura 2. 7: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso -2 – Muro de suporte – Lado esquerdo

No piso -2 apenas se cartografou a face orientada para Norte do Muro de Suporte do lado esquerdo (Figura 2. 7). As pedras apresentam-se afetadas por desagregação granular de intensidade média.

Com o apoio da cartografia é possível visualizar que os pisos -1, 0 e 1 são os mais deteriorados. Com efeito, a descarga do bacalhau fazia-se diretamente a partir do Muro dos Bacalhoeiros (piso -1) e a saída pela Rua da Reboleira (piso 0). Não há informação sobre que pisos o bacalhau era armazenado, mas, atendendo ao maior grau de deterioração do granito do Porto, supõe-se que seria nos pisos -1 e 0 e, eventualmente, no piso 1.

Assim, as pedras das ombreiras cartografadas nos pisos -1 e 0 estão sempre afetadas por desagregação granular de intensidade forte (Figuras 2.8, 2.9 e 2.10).

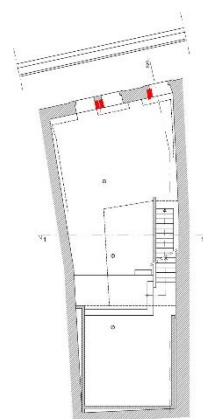


Figura 2.8: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso -1

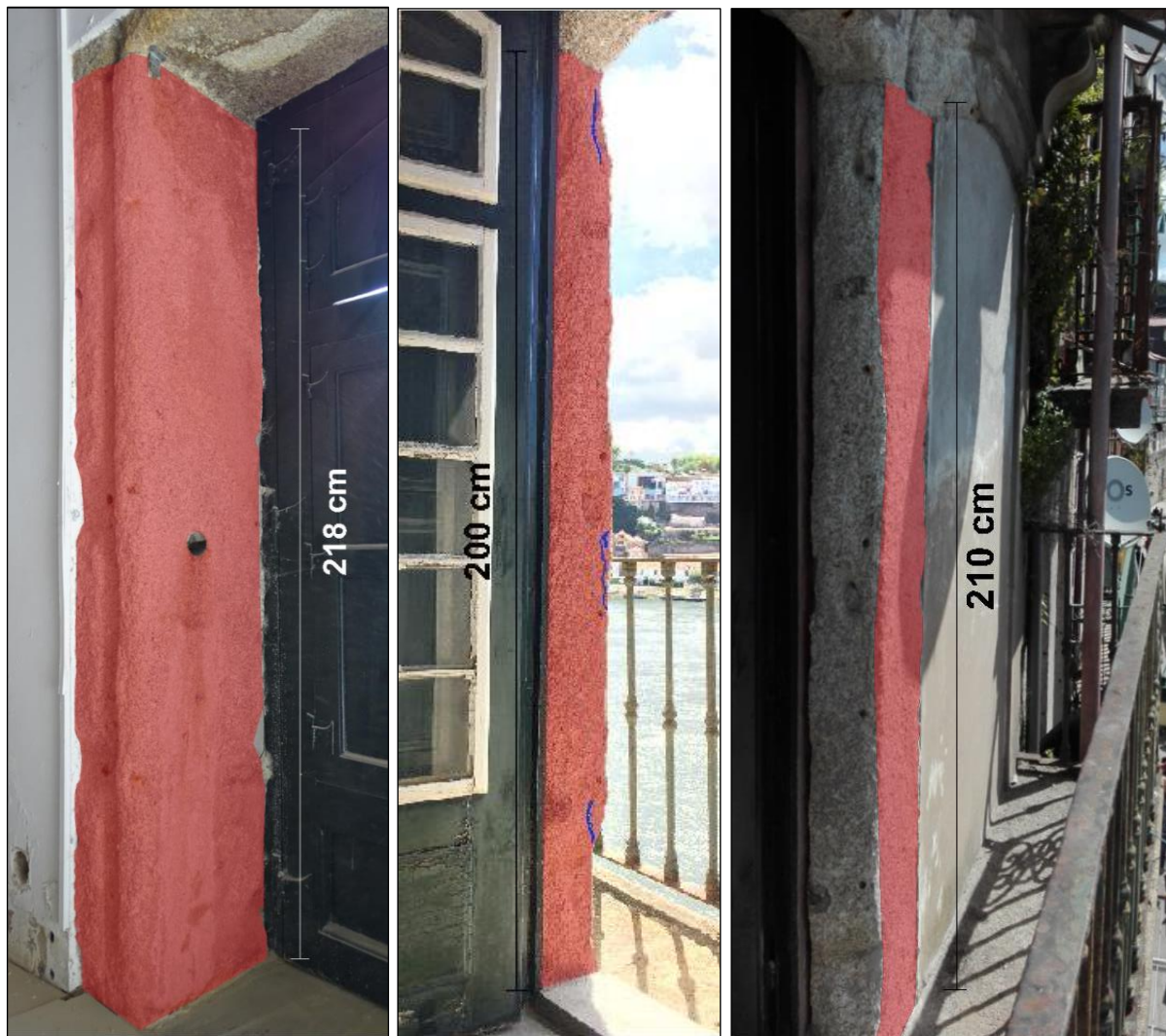


Figura 2.9: Cartografia das deteriorações – Interior – Fachada Sul – Piso 0



Figura 2.10: Cartografia das deteriorações – Piso 0 – Interior – Fachada Norte – Vão Central

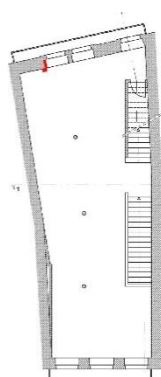
Nos pisos 1 e 2, predominam as pedras afetadas por desagregação granular de intensidade forte na fachada Sul (Figuras 2.11, 2.12, 2.14 e 2.15). Relativamente à fachada Norte, a desagregação granular é de intensidade média (Figuras 2.13 e 2.16). Este fenómeno deverá ter resultado da exposição aos elementos climáticos (maior humidade e nevoeiros salinos associados ao rio Douro e orientação para as chuvas predominantes de Sudoeste e Sul).



a) Interior – Face Oeste e face Norte

b) Exterior – Face Oeste

c) Exterior – Face Sul



Desagregação granular de intensidade forte



Argamassa de cimento



Fissura



Localização das zonas cartografadas

Figura 2.11: Cartografia das deteriorações –Piso 1 – Fachada Sul – Vão Esquerdo – Ombreira esquerda



Desagregação granular de intensidade forte



Desagregação granular de intensidade média



Desagregação granular de intensidade forte associada a plaquetas



Argamassa de cimento



Ardósia



Localização das zonas cartografadas

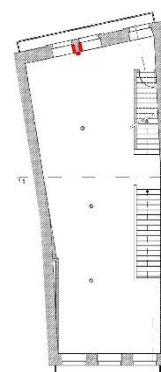


Figura 2.12: Cartografia das deteriorações – Piso 1 – Interior – Fachada Sul

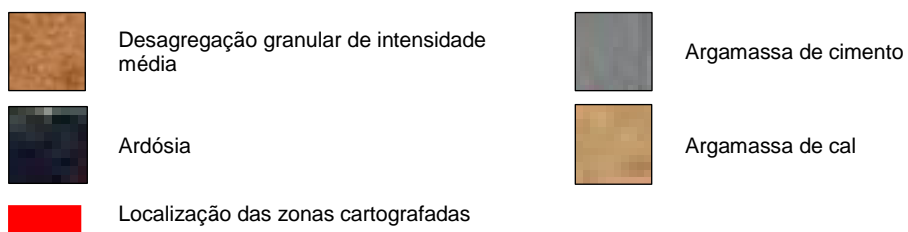
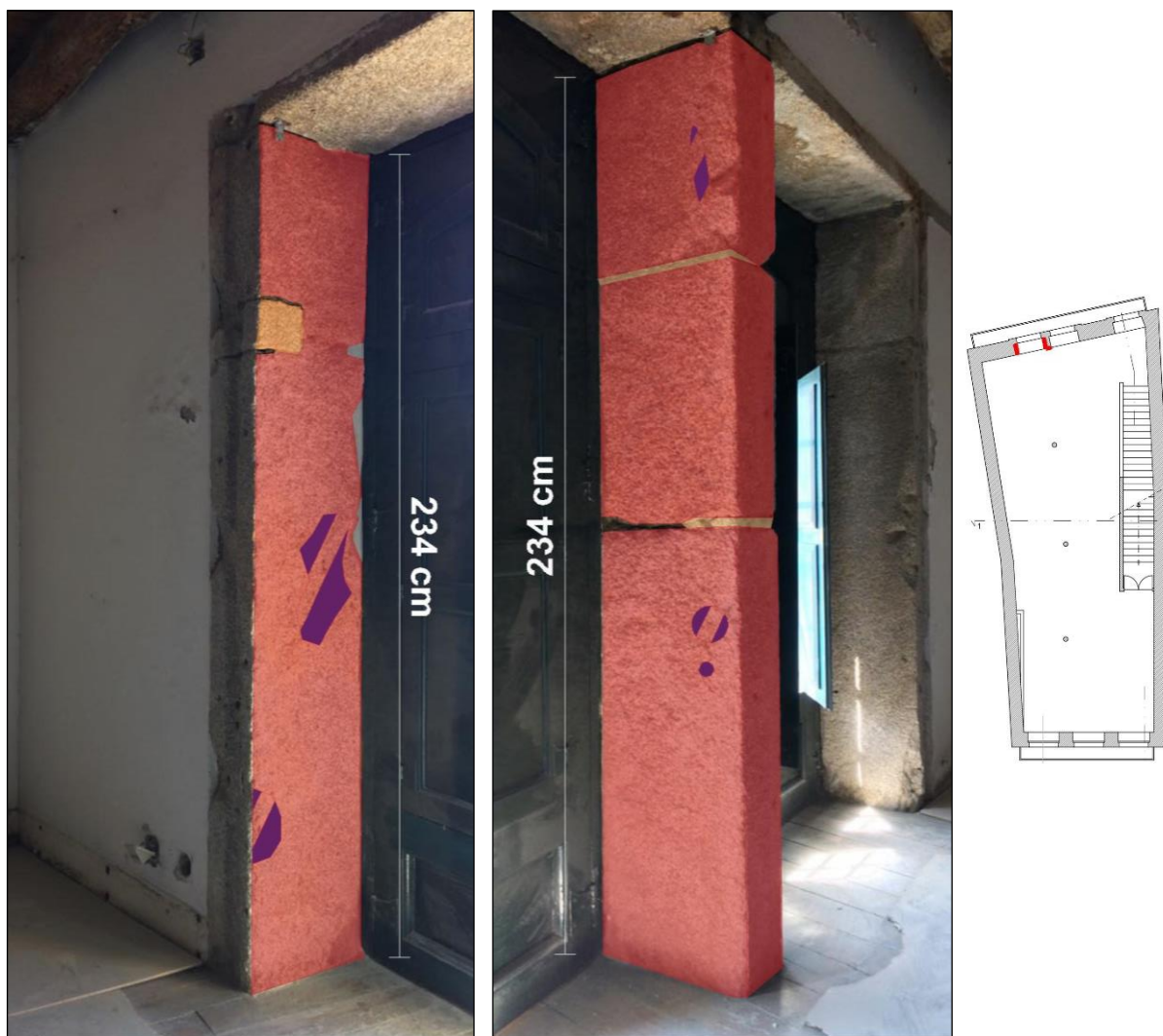


Figura 2.13: Cartografia das deteriorações – Piso 1 – Fachada Norte



a) Ombreira esquerda

b) Ombreira direita e face Sul

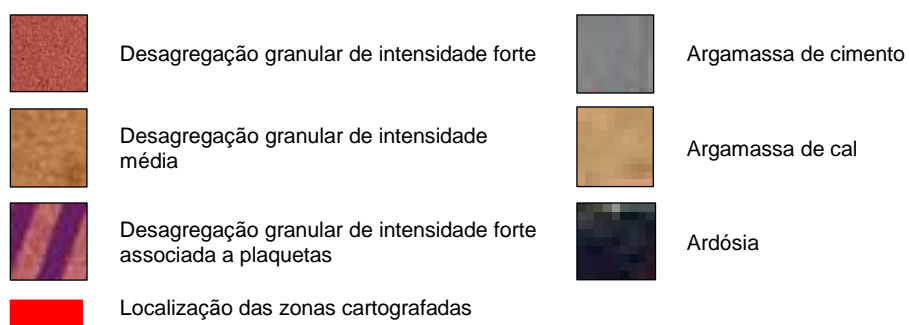


Figura 2.14: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Fachada Sul – Vão Esquerdo

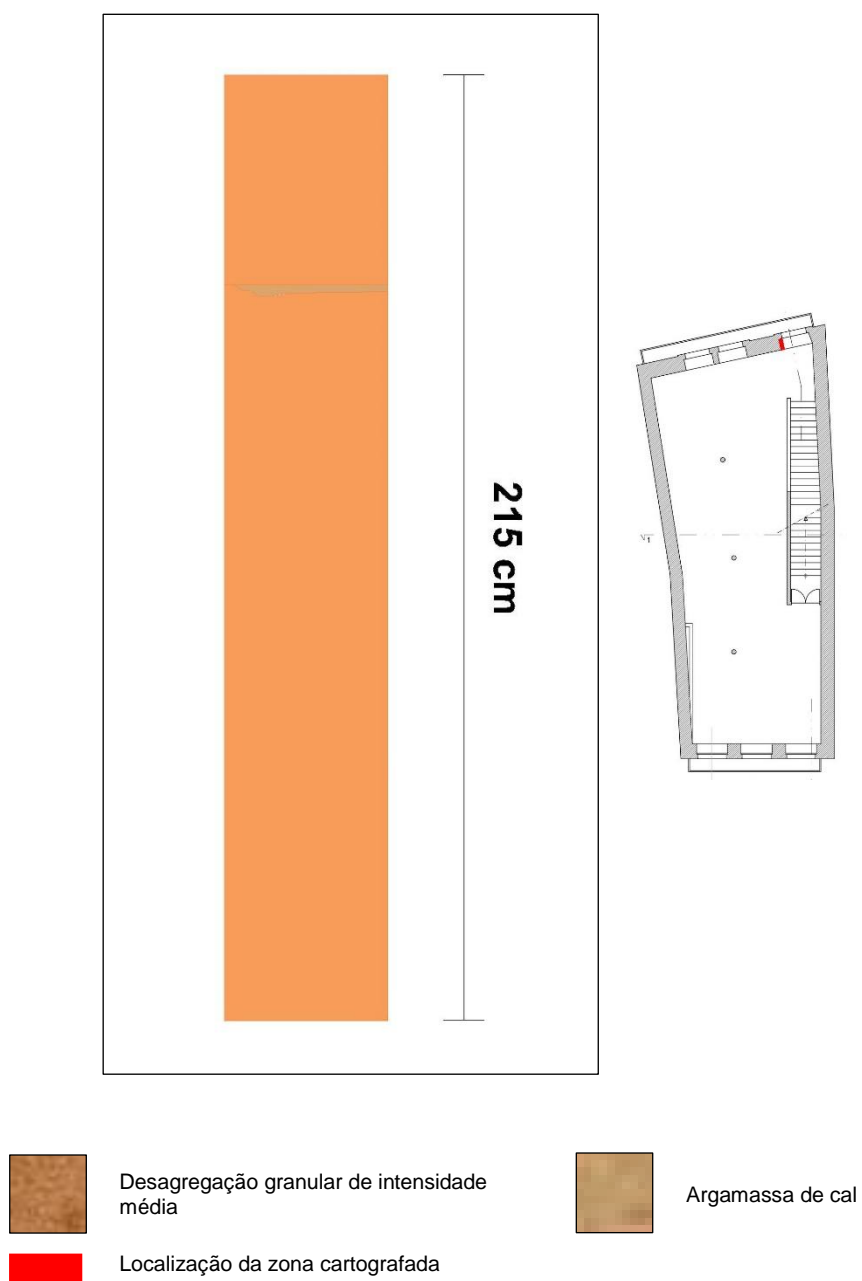


Figura 2.15: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerdo



Figura 2.16: Cartografia das deteriorações – Piso 2 – Interior – Fachada Norte – Vão esquerdo – Ombreira esquerda

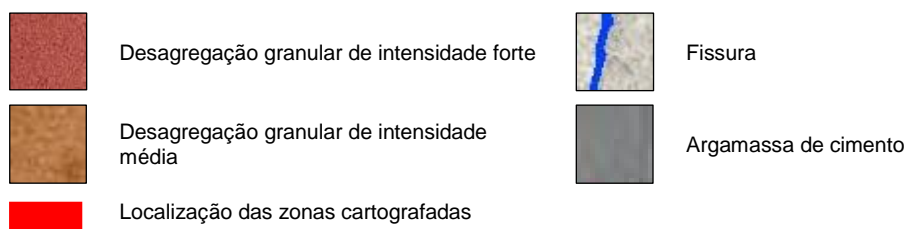


Figura 2.17: Cartografia das deteriorações – Piso 3 – Interior – Fachada Sul

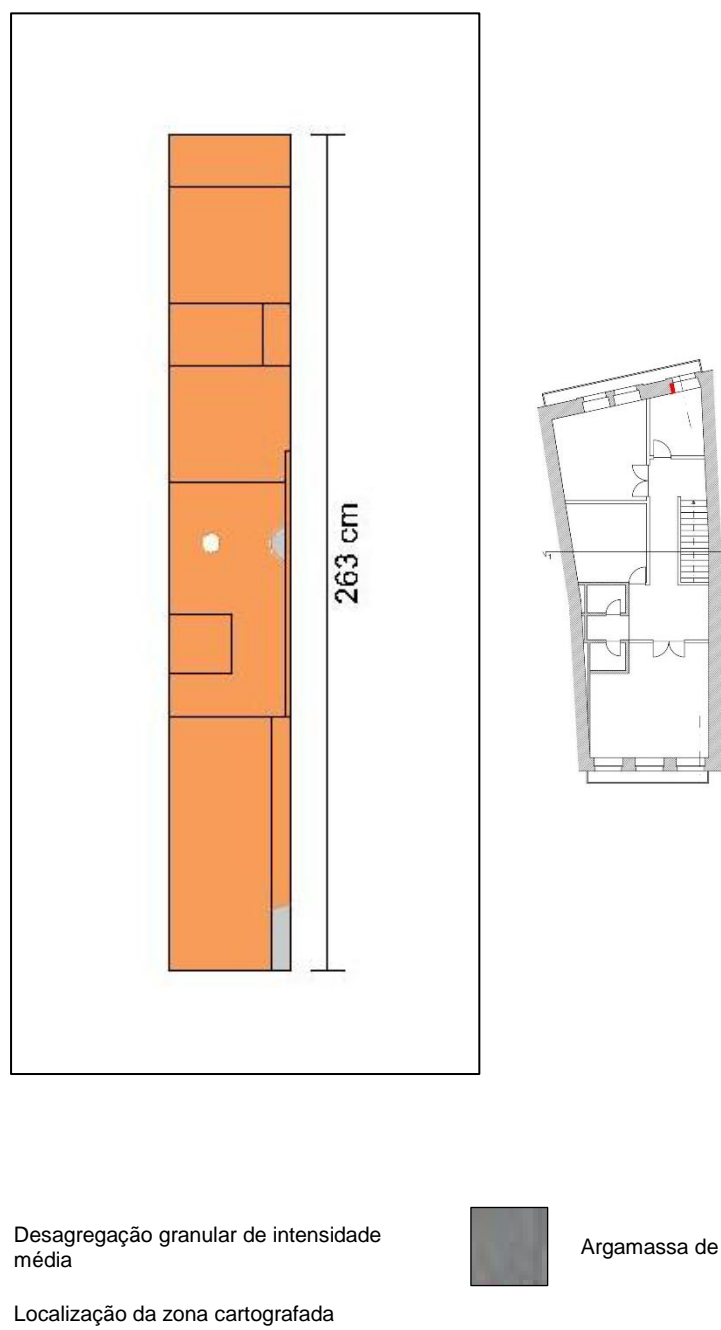


Figura 2.18: Cartografia das Deteriorações – Piso 3 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda

No piso 3, tanto as pedras das ombreiras das fachadas Sul (Figuras 2.17 e 2.18) como Norte apresentam desagregação granular de intensidade média.

3

AMOSTRAGEM E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS

3.1. AMOSTRAGEM

Recolheram-se 18 amostras de deteriorações do edifício do Museu do Vinho do Porto, na Rua da Reboleira, situada na Ribeira do Porto. As amostras foram recolhidas ao longo dos 6 pisos, sendo denominadas de MVP 01 a MVP 18. Na Tabela 3.1, descreve-se o tipo de deterioração, assim como o local, a cota e a data da recolha. Das 18 amostras, 6 são de desagregação granular de intensidade forte a muito forte, 2 de eflorescências *fluffy*, 2 de eflorescências pulverulentas, 1 de crosta negra, 3 de plaquetas associadas a desagregação granular de intensidade muito forte e 4 amostras de fragmentos de granito do Porto. Relativamente aos fragmentos, 3 amostras foram encontradas sobre o pavimento do piso -1, e a quarta é constituída por 5 pedaços da segunda pedra atingida pelo tarolo MVP C2.

Tabela 3.1: Amostras recolhidas no Museu do Vinho do Porto

Amostra	Deterioração	Local de recolha	Cota	Data
MVP 01	Fragmentos de granito do Porto com desagregação granular de intensidade fraca	Encontrados no pavimento do piso -1		
MVP 02				
MVP 03				
MVP 04	Eflorescência <i>fluffy</i> de cor branca	Piso 2 – Interior – Fachada Sul – Vão central – Acima da padieira – Recolhida com pincel sobre argamassa de cimento	2,65 m	2016/12/09
MVP 05	Plaqueta destacada com cerca de 6 a 7 cm de comprimento afetada por desagregação granular de intensidade muito forte	Piso 2 – Interior – Fachada Sul – Vão esquerdo – Ombreira esquerda – Recolhida à mão	1,15 m	

Tabela 3.1: Amostras recolhidas no Museu do Vinho do Porto (continuação)

Amostra	Deterioração	Local de recolha	Cota	Data
MVP 06	Eflorescência pulverulenta de cor branca	Piso -2 – Interior – Fachada Sul – Muro de suporte – Parede à esquerda do vão esquerdo – Recolhida com pincel sobre argamassa de cimento	1,30 m a 1,43 m	2016/12/09
MVP 07	Eflorescência pulverulenta de cor branca	Piso -2 – Interior – Fachada Sul – Muro de suporte – Vão esquerdo – Ombreira direita – Recolhida com pincel sobre argamassa de cimento	1,70 m a 1,85 m	
MVP 08	Desagregação granular de intensidade forte – Posteriormente, extraiu-se o tarolo MVP C4	Piso 0 – Interior – Fachada Sul – Vão esquerdo – Ombreira esquerda – Recolhida com escova de plástico	0,70 m a 0,90 m acima da cota da soleira	2016/12/14
MVP 09	Desagregação granular de intensidade forte – Após a recolha, a amostra exibia cor cinzenta escura – Posteriormente, extraiu-se o tarolo MVP C5	Piso 0 – Interior – Fachada Norte – Vão central – Ombreira direita – Recolhida com escova de plástico	0,80 m a 1,00 m	
MVP 10	Desagregação granular de intensidade muito forte – Após a recolha, a amostra exibia cor cinzenta clara	Piso 0 – Interior – Fachada Norte – Vão central – Ombreira direita na face paralela à fachada – Acima da junta na zona onde houve muita perda de material pétreo – Recolhida com escova de plástico	1,75 m a 1,85 m	
MVP 11	Eflorescência <i>fluffy</i> de cor branca, constituída por pêlos até 15 mm de comprimento	Piso -2 – Interior – Fachada Sul – Muro de suporte – Vão direito – Ombreira direita – Recolhida com pincel sobre argamassa de cimento	1,37m a 1,50 m	

Tabela 3.1: Amostras recolhidas no Museu do Vinho do Porto (continuação)

Amostra	Deterioração	Local de recolha	Cota	Data
MVP 12	Desagregação granular de intensidade muito forte associada a plaquetas destacadas	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – Vão central – Ombreira esquerda – Desagregação granular recolhida com escova de plástico e plaquetas à mão	1,00 m a 1,15 m	2016/12/14
MVP 13	Desagregação granular de intensidade muito forte	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – Vão central – Ombreira esquerda da janela acima da porta – Recolhida com escova de plástico	2,45 m a 2,55 m (0,12 m a 0,22 m acima da padieira da porta)	
MVP 14	Desagregação granular de intensidade muito forte associada a plaquetas destacadas com espessura até 6 mm	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda – Desagregação granular recolhida com escova de plástico e plaquetas à mão	1,10 m a 1,20 m	
MVP 15	Desagregação granular de intensidade forte – Posteriormente, extraiu-se o tarolo MVP C6	Piso 1 – Interior – Fachada Sul – Vão esquerdo – Ombreira esquerda – Recolhida com escova de plástico	1,00 m a 1,10 m	
MVP 16	Crosta negra	Piso 1 – Exterior – Fachada Norte – Sob varanda do piso 2 – Vão esquerdo – Ombreira direita		
MVP 17	5 fragmentos de granito do Porto obtidos do tarolo MVP C2 (segunda pedra atingida pelo tarolo)	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda	1,19 m	
MVP 18	Desagregação granular de intensidade muito forte	Piso -1 – Exterior – Fachada Sul – Vão central – Ombreira esquerda – Granito do Porto à vista, mas rodeado de argamassa de cimento – Recolhida com escova de plástica e os dois fragmentos maiores à mão – Orientação Sul	1,55 m a 1,70 m acima do pavimento do Muro dos Bacalhoeiros	

Sempre que mencionada a localização das amostras e dos tarolos, utilizou-se a terminologia esquerda e direita, como vistas do interior do edifício, tanto na fachada Sul como na fachada Norte. As cotas foram medidas no pavimento do respetivo piso, exceto quando indicado.

Complementarmente às 18 amostras, no interior do edifício, foram ainda recolhidos 7 tarolos cilíndricos em diversos pisos, um no piso -2, dois no piso -1, dois no piso 0, um no piso 1 e um no piso 3. Estes encontram-se designados na Tabela 3.2. Os tarolos cilíndricos foram extraídos com a máquina Hilti DD 160E (Figuras 3.1a, 3.1b, 3.1c e 3.1d) do Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Tabela 3.2: Tarolos recolhidos no Museu do Vinho do Porto

Tarolo	Comprimento (mm)	Local de recolha	Cota (m)	Data
MVP C1	385	Piso -2 – Interior – Fachada Sul – Muro de suporte – Vão esquerdo – Ombreira esquerda – Foi necessário picar previamente a argamassa de cimento de revestimento	0,92	2016/12/14
MVP C2	205	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda	1,19	
MVP C3	220	Piso -1 – Interior – Fachada Sul – O tarolo cortou toda a ombreira entre o vão central e o vão esquerdo	1,09	
MVP C4	240	Piso 0 – Interior – Fachada Sul – Vão esquerdo – Ombreira esquerda	0,80 m acima da cota da soleira	
MVP C5	225	Piso 0 – Interior – Fachada Norte – O tarolo cortou toda a ombreira entre o vão direito e o vão central	0,92	
MVP C6	Fragmento maior 225 Fragmento menor 85	Piso 1 – Interior – Fachada Sul – Vão esquerdo – Ombreira esquerda – Foram retirados 2 fragmentos – Fragmento maior pertence à ombreira; fragmento menor pertence à pedra adjacente à ombreira	1,06	
MVP C7	200	Piso 3 – Interior – Fachada Sul – Vão direito – Ombreira esquerda	1,33	



a) Extração do tarolo MVP C1 no Piso -2 no muro de suporte



b) Extração do tarolo MVP C3 no Piso -1



c) Tarolo MVP C5 antes de ser retirado da pedra



d) Aspeto da pedra após extração do tarolo MVP C6



e) Aspeto dos tarolos antes de serem cortados



f) Corte do tarolo MVP C1

Figura 3.1: Imagens da extração e aspeto dos tarolos e corte dos provetes cilíndricos

Os sete tarolos (Tabela 3.2) foram cortados e retificados posteriormente no LEMC (Figura 3.1f), obtendo-se, no total, 22 provetes cilíndricos com cerca de 50 mm de comprimento e vários cilindros de menores dimensões ou para determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio ou destinados a serem colocados no Museu do Vinho do Porto, como tampas nas pedras onde foram retirados os sete tarolos de modo a reduzir o impacto resultante da extração dos mesmos (Figura 3.1d).

A Figura 3.2 mostra o local de recolha dos tarolos e das amostras na planta de cada piso e, na Tabela 3.3, apresentam-se a proveniência dos provetes, finalidade, profundidade, comprimento e seus diâmetros. Os comprimentos apresentados calcularam-se como sendo a média de 4 medições e os diâmetros obtiveram-se como a média de 3 medições.

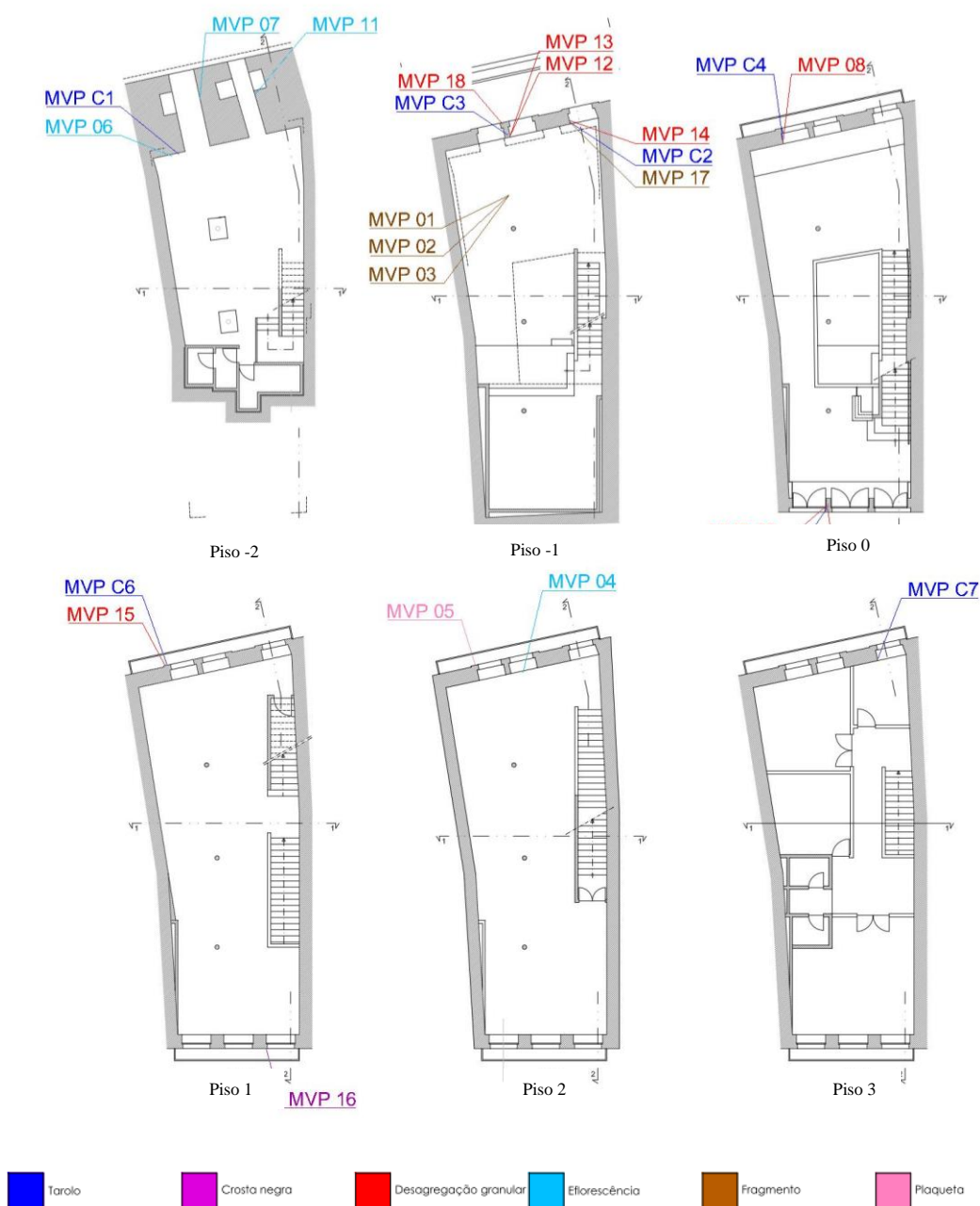


Figura 3.2: Localização das amostras e dos tarolos nos distintos pisos

Tabela 3.3: Designações, profundidades, e dimensões dos 22 provetes cilíndricos, das amostras para porosímetro e das tampas

Tarolo	Proвете	Profundidade (mm)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
MVP C1	Tampa 1.1	0,00 – 19,00		
	MVP C1.1	20,00 – 70,19	50,19	49,58
	Porosímetro MVP P 1.1	75,00 – 95,00		
	MVP C1.2	103,00 – 153,20	50,20	49,58
	MVP C1.3	168,00 – 217,53	49,53	49,49
	MVP C1.4	230,00 – 279,03	49,03	49,54
	Tampa 1.2	287,00 – 310,00		
MVP C2	MVP C1.5	327,00 – 376,59	49,59	49,52
	MVP C2.1	6,00 – 55,20	49,20	49,65
	MVP C2.2	73,00 – 123,62	50,62	49,59
	MVP C2.3	128,00 – 178,07	50,07	49,53
	Tampa 2.1	188,00 – 205,00		
MVP C3	Porosímetro MVP P3.1	0,00 – 22,00		
	MVP C3.1	23,00 – 72,98	49,98	49,63
	MVP C3.2	81,00 – 131,21	50,21	49,62
	MVP C3.3	153,00 – 203,52	50,52	49,58
	Porosímetro MVP P3.2	205,00 – 220,00		
MVP C4	Tampa 4.1	0,00 – 10,00		
	MVP C4.1	12,00 – 62,23	50,23	49,16
	Tampa 4.2	72,00 – 95,00		
	MVP C4.2	97,00 – 147,06	50,06	49,16
	MVP C4.3	168,00 – 218,23	50,23	49,50
	Tampa 4.3	221,00 – 240,00		
MVP C5	Tampa 5.1	0,00 – 17,00		
	MVP C5.1	23,00 – 73,41	50,41	49,41
	MVP C5.2	80,00 – 130,12	50,12	49,50
	MVP C5.3	148,00 – 198,31	50,31	49,42
	Tampa 5.2	205,00 – 225,00		

Tabela 3.3: Designações, profundidades, e dimensões dos 22 provetes cilíndricos, das amostras para porosímetro e das tampas (continuação)

Tarolo	Proвете	Profundidade (mm)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
MVP C6	Porosímetro MVP P6.1	0,00 – 13,00		
	MVP C6.1	23,00 – 73,33	50,33	49,62
	MVP C6.2	92,00 – 142,19	50,19	49,62
	MVP C6.3	144,00 – 194,18	50,18	49,56
	Tampa 6.1	208,00 – 225		
MVP C7	Porosímetro MVP P7.1	0,00 – 12,00		
	MVP C7.1	15,00 – 65,04	50,04	49,54
	MVP C7.2	102,00 – 152,50	50,50	49,62
	Tampa 7.1	162,00 – 180,00		
	Tampa 7.2	182,00 – 200,00		

3.2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS

Na identificação dos minerais constituintes do granito do Porto e dos minerais de sais solúveis presentes nas deteriorações da pedra, utilizou-se a técnica da microscopia eletrónica de varrimento (MEV).

Efetuuou-se a caracterização petrofísica do granito do Porto com recurso aos ensaios de determinação da porosidade livre às 48 horas, densidade aparente, porometria com o porosímetro de mercúrio, absorção de água por capilaridade, evaporação e velocidade de propagação dos ultrassons.

A resistência mecânica do granito determinou-se através da resistência à compressão uniaxial.

A resistência superficial das pedras de granito do Porto do Museu do Vinho do Porto avaliou-se através do esclerómetro de Schmidt.

3.2.2. MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO

Esta técnica permite a identificação e observação, com uma elevada resolução, das amostras. Permite ainda, a identificação e análise química dos minerais e partículas das amostras, a identificação e análise de partículas raras ou muito pequenas e mostra a distribuição dos elementos químicos numa dada área. Contudo, esta técnica também apresenta alguns inconvenientes, tais como o facto de possuir uma elevada resolução que pode levar o observador a não conseguir identificar todas as partículas existentes na amostra e o facto de não permitir a distinção de minerais de sais solúveis idênticos, mas com graus de hidratação diferentes, a menos que estes apresentem hábitos cristalinos diferentes.

Esta técnica foi realizada para o estudo mineralógico das seguintes 11 amostras de deteriorações: MVP 4, MVP 5, MVP 6, MVP 7, MVP10, MVP 11, MVP 13, MVP 14, MVP 15, MVP 16 e MVP 18.

As sessões de MEV realizaram-se no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorrendo-se a um microscópio modelo FEI Quanta FEG, equipado com o sistema de microanálise por

raio-X (EDS) Edax Pegasus X4M. As amostras foram revestidas a ouro-paládio e observadas e analisadas por elétrons secundários ou retrodifundidos a 15 keV, 10 keV ou 7 keV e por períodos de tempo útil (*livetime*) iguais a 50 segundos.

3.2.3. POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS

A porosidade livre às 48 horas (N_{48}), ou porosidade aberta, foi determinada no LEMC, recorrendo às técnicas e metodologias utilizadas no Laboratoire de Pétrophysique do *Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg* do *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) e referidas por Mertz (1991), Hammecker (1993), Begonha (2001) e Silva (2012). Procedeu-se ao ensaio sob condições atmosféricas normais de pressão e temperatura ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) para os 22 provetes.

Este ensaio consistiu em secagem prévia em estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ até peso constante e de arrefecimento em exsiccador até $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de modo a obter-se o peso seco (W_0). Seguidamente, mergulharam-se os provetes em água destilada até um quarto da sua altura, durante uma hora. De seguida, acrescentou-se mais quantidade de água destilada por forma a que a sua altura atingisse metade da altura dos provetes. Os provetes foram mantidos nestas condições durante 23 horas. Decorrido esse tempo, foi novamente acrescentada água destilada de modo a que, durante mais 24 horas, os provetes ficassem totalmente submersos, com aproximadamente 2 cm de água destilada acima dos mesmos. Esta última fase encontra-se ilustrada na Figura 3.3. Sucidadas as 48 horas de ensaio, os provetes foram pesados, obtendo-se o peso W_{48} .

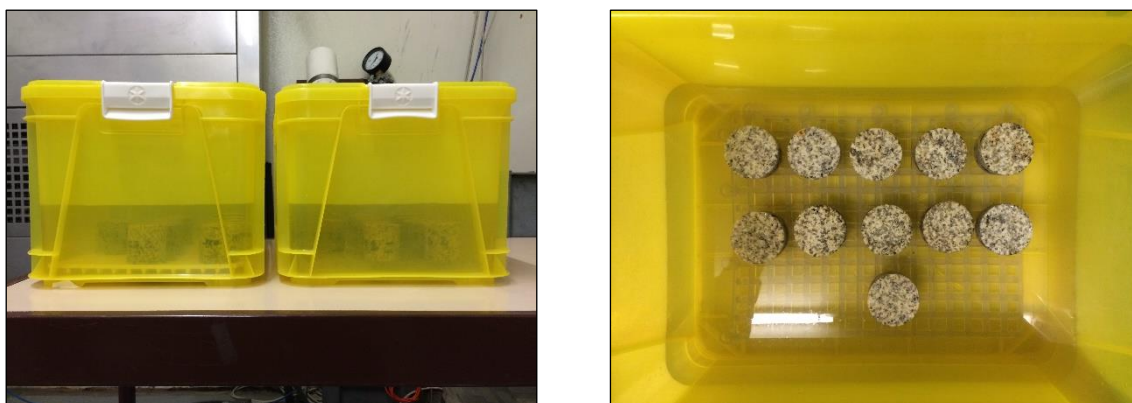


Figura 3.3: Ensaio da determinação da porosidade livre às 48 h

O valor da porosidade livre às 48 horas em percentagem foi determinado, recorrendo-se à expressão (3.1), onde V é o volume do provete, calculado a partir das dimensões do mesmo.

$$N_{48} = \frac{W_0 - W_{48}}{V} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.4. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente, d , foi calculada através da razão entre o peso seco (W_0) de cada um dos 22 provetes cilíndricos e o volume (V) dos mesmos conforme a equação (3.2).

$$d = \frac{W_0}{V} \quad (3.2)$$

3.2.5. POROMETRIA COM O POROSÍMETRO DE MERCÚRIO

O porosímetro de mercúrio permite o estudo do meio poroso das rochas, ou seja, do tamanho, forma, grau de interligação e número de famílias principais de poros ou de fissuras.

A determinação da porosidade ao mercúrio realiza-se em três fases, descritas por Mertz (1991) Hammecker (1993), Begonha (1997, 2001) e Silva (2012). Na primeira fase, denominada por drenagem ou primeira injeção, é injetado sucessivamente mercúrio sob pressões crescentes, em poros cada vez mais pequenos da amostra. Na segunda fase do processo, embebição ou desabsorção, ocorre uma embebição com mercúrio sob a forma de vapor por desabsorção de mercúrio líquido, sob pressões aplicadas decrescentes de mercúrio líquido. No final desta etapa, a quantidade de mercúrio retirado da amostra é inferior à injetada no final da fase anterior de drenagem, devido à retenção de pequenas gotículas isoladas de mercúrio líquido no interior da rede porosa, constituindo a porosidade retida. A terceira fase, segunda drenagem ou segunda injeção, nem sempre realizada, tal como sucedeu no presente trabalho, permite observar o fenómeno de histerese relativamente à embebição. Para uma determinada pressão, a amostra contém maior quantidade de mercúrio líquido na fase de embebição do que na segunda drenagem (última fase). Hammecker (1993), citando outros autores, refere que este fenómeno de histerese pode ser devido a uma variação do ângulo de contacto do mercúrio nas fases de injeção e desabsorção.

Dullien (1979) e Mertz (1991) referem que a quantidade de mercúrio líquido injetado depende, para cada pressão aplicada, não só do tamanho dos poros, mas sobretudo da dimensão dos raios dos acessos aos poros.

Dado que a rede porosa dos granitos é essencialmente de tipo fissural (Delgado Rodrigues, 1978, Castro *et al.* 1990, Castro *et al.* 1991a, Castro *et al.*, Begonha 1997, 2001, Delgado Rodrigues e Costa, 2000), isto é, constituída principalmente por fissuras e não por poros, no sentido que lhes é habitualmente atribuído nas rochas sedimentares, os raios de acesso aos poros serão designados por raios de acesso às fissuras. De igual modo, optar-se-á pela designação de famílias de fissuras e não de famílias de poros como é habitual na literatura mais vocacionada para rochas sedimentares.

O ensaio com o porosímetro de mercúrio permite a determinação das larguras/diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras ou poros (d_a), da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), da microporosidade (N_μ - fissuras/poros com abertura/diâmetro inferior a $7,5 \mu m$), da macroporosidade (N_M - fissuras/poros com abertura/diâmetro superior a $7,5 \mu m$) e da razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_μ/N_{Hg}).

Para a realização deste ensaio foram enviadas cinco amostras (MVP P1.1, MVP P3.1, MVP 3.2, MVP 6.1 e MVP P7.1) para o Laboratório de Ensaios, Desgaste e Materiais do Instituto Pedro Nunes (IPNled&mat) da Universidade de Coimbra, onde foi realizado o ensaio. Foi utilizado o equipamento AutoPore IV da *Micromeritics* da Unidade de Materiais Granulares do referido laboratório. A gama de pressões do aparelho encontra-se entre os 0,50 psia e os 33000,00 psia, o que permite a introdução de mercúrio em poros e/ou fissuras de diâmetro e/ou largura compreendidos entre $360 \mu m$ e de 5,5 nm, respetivamente.

3.2.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A absorção de água por capilaridade consiste na capacidade dos materiais em captar a água acima do nível que apresenta a superfície líquida em contacto com eles.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado no LEMC, segundo as técnicas e metodologias utilizadas no Laboratoire de Pétrophysique du Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg do CNRS e referidas por Mertz (1991), Hammecker (1993), Begonha (2001) e Silva (2012).

Os 22 provetes cilíndricos, previamente secos em estufa a uma temperatura de 60 °C até peso constante e arrefecidos em exsiccador até 20 °C de modo a obter-se o peso seco (W_0), foram colocados verticalmente sobre uma grelha no interior de um recipiente, dentro do qual se manteve uma altura de água destilada de aproximadamente 2 mm. Este recipiente foi hermeticamente fechado por forma a manter uma temperatura de 20 °C e uma humidade relativa aproximada de 100 %, de modo a evitar o fenómeno de evaporação.

Durante este ensaio, foram registados o peso, a altura da franja capilar e os instantes de realização desses registos, para cada provete. O processo terminou quando o peso dos provetes se tornou constante.

Na Figura 3.4, é possível observar o aspeto dos provetes durante o ensaio de absorção de água por capilaridade, onde, nos mais escuros a franja capilar atingiu o topo dos provetes contrariamente ao que sucedeu nos provetes mais claros.



Figura 3.4: Ensaio da absorção de água por capilaridade

As curvas de evolução do acréscimo de peso por área da base do provete (dW/S) e da franja capilar (L) permitem determinar estatisticamente, realizando um ajuste linear, o aumento de peso por unidade de superfície e unidade de raiz quadrada do tempo (coeficiente de capilaridade A) e a ascensão da franja capilar por unidade de raiz quadrada do tempo (coeficiente de capilaridade B).

É possível ainda perceber se uma amostra se comporta como possuindo uma rede porosa unimodal ou bimodal. Perante uma rede porosa unimodal, o primeiro segmento (A) termina quando a franja capilar (B) atinge o topo do provete (Figura 3.5), ou seja, o aumento de peso corresponde sensivelmente ao preenchimento de todos os poros livremente acessíveis à água ao fim de 48 horas ($W_{48}-W_0$). Perante uma rede porosa bimodal, em vez de um troço inicial, apresentam-se dois segmentos de diferente declive, os segmentos A e A_1 que se observam na Figura 3.6. O segmento A termina quando a franja capilar atinge o topo do provete (Figura 3.6), o que corresponde ao preenchimento da família de poros

de menor diâmetro. O troço A_1 está associado ao preenchimento da segunda família de poros (Figura 3.6). O fim do troço A_1 corresponde sensivelmente ao preenchimento de todos os poros livremente acessíveis à água ao fim de 48 horas ($W_{48}-W_0$).

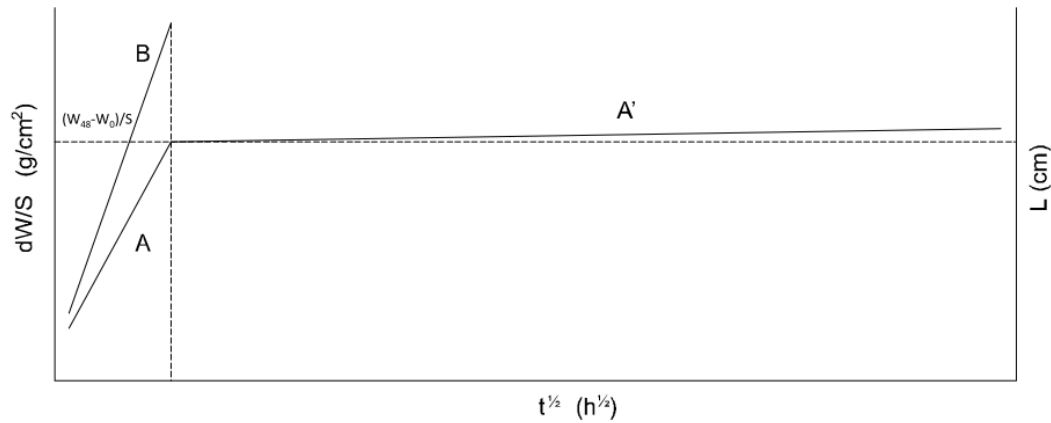


Figura 3.5: Ensaio de absorção de água por capilaridade – Exemplo de uma rede porosa unimodal

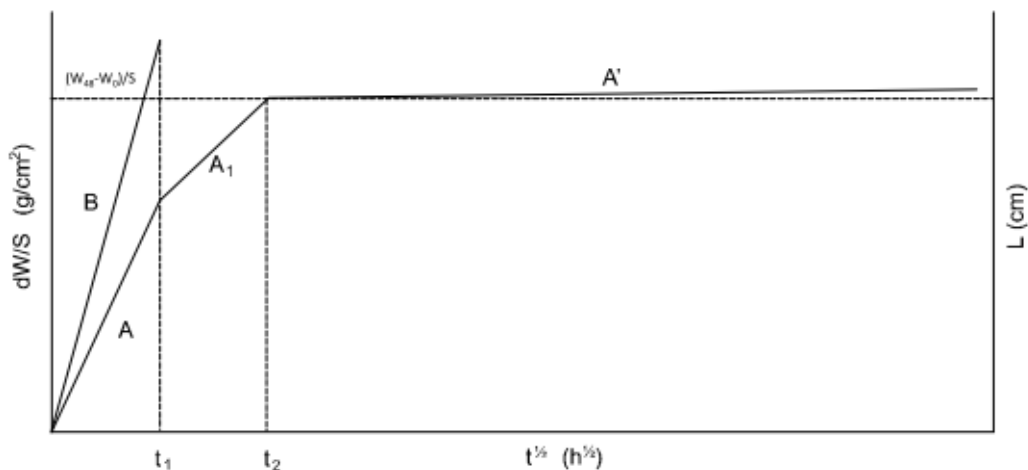


Figura 3.6: Ensaio de absorção de água por capilaridade – Exemplo de uma rede porosa bimodal

Nota-se, que o número de famílias obtidas no ensaio do porosímetro de mercúrio e as determinadas no ensaio de absorção de água por capilaridade não têm obrigatoriamente de ser iguais.

3.2.7. EVAPORAÇÃO

O ensaio de evaporação foi realizado no LEMC segundo as técnicas e metodologias utilizadas no Laboratoire de Péetrophysique do Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg do CNRS e referidas por Mertz (1991), Hammecker (1993), Begonha (2001) e Silva (2012), logo após a execução do ensaio de determinação da porosidade livre às 48 horas e executado nos provetes MVP C1.2, MVP C1.3, MVP C1.5, MVP C2.1, MVP C2.2, MVP C2.3, MVP C3.1, MVP C4.2, MVP C5.1 e MVP C6.2.

Os provetes cilíndricos foram envoltos com uma película aderente de polietileno presa por um elástico, de modo a não ocorrerem perdas de vapor de água, ficando apenas com uma das faces livre para ocorrer a evaporação (face que no ensaio da porosidade livre às 48 horas esteve em contacto com a água destilada). Nestas condições, os provetes foram colocados num recipiente hermeticamente fechado sob temperatura (20 °C) e humidade relativa (75 %) constantes. O controlo da humidade relativa foi conseguido através da presença de uma solução sobressaturada de cloreto de sódio que permitia a absorção do vapor de água proveniente da secagem dos provetes.

A Figura 3.7 mostra o aspeto dos provetes durante o ensaio de evaporação.

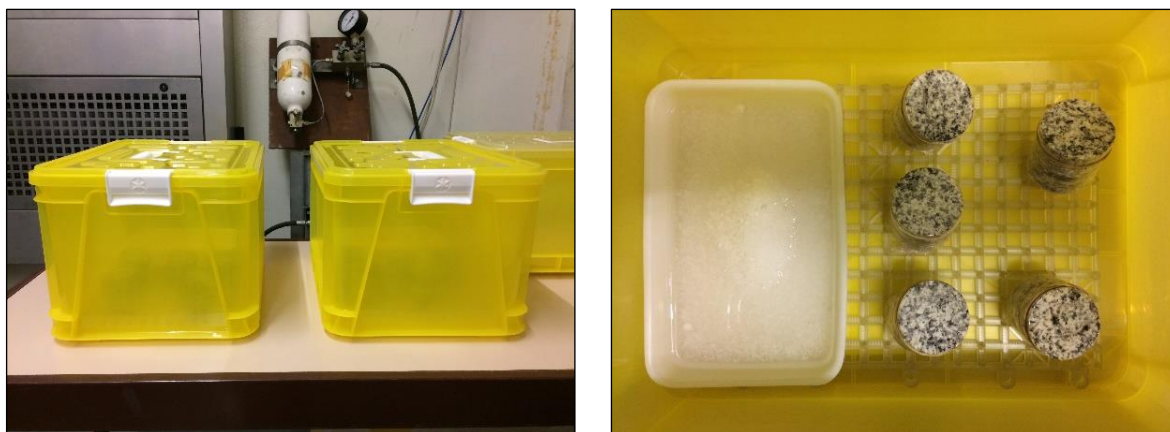


Figura 3.7: Ensaio da evaporação – Aparência dos provetes

Durante o ensaio, foi registado o peso dos provetes e o instante em que foram realizadas as pesagens. Os dados obtidos permitem construir a curva de perda de peso por unidade de superfície em função do tempo. Desta curva, é possível determinar o fluxo de evaporação do vapor de água (q), que corresponde ao troço inicial onde existe proporcionalidade entre o tempo e a variação do peso por superfície; a saturação crítica S_c , ponto onde o fluxo de evaporação deixa de ser constante, ou seja, ponto a partir do qual a evaporação deixa de se realizar na superfície do provete, passando a efetuar-se no seu interior; e o instante t_{sc} em que ocorre a saturação crítica S_c .

3.2.8. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DOS ULTRASSONS

A velocidade de propagação dos ultrassons (v) foi calculada nos 22 provetes cilíndricos de granito do Porto no LEMC, recorrendo a um aparelho CSI Concrete Tester CCT-4. Este aparelho permite a medição de tempos de propagação com uma precisão de 10^{-1} μ s. A Figura 3.8 apresenta o dispositivo de medição do tempo de propagação dos ultrassons.

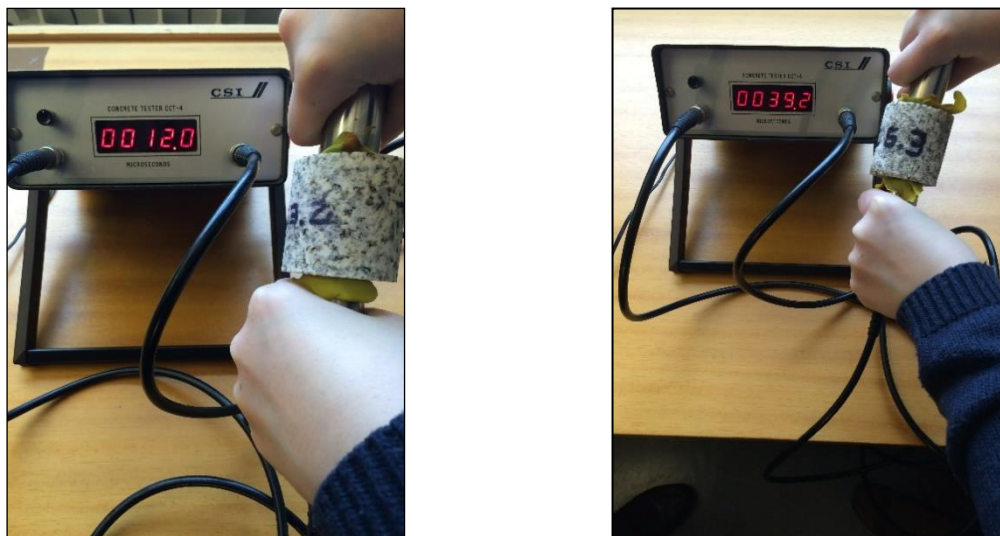
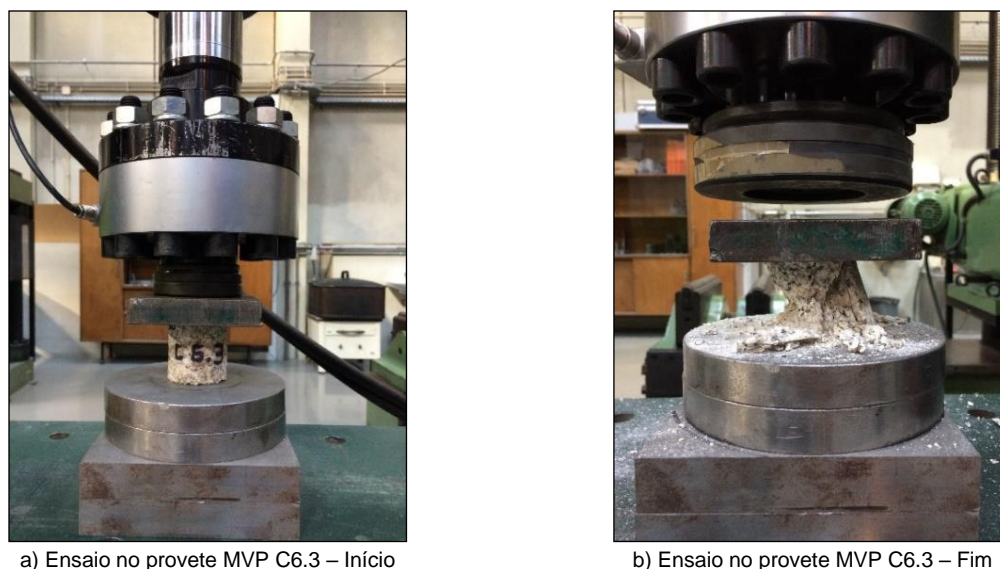


Figura 3.8: Ensaio da velocidade de propagação dos ultrassons

3.2.9. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

A resistência à compressão uniaxial (σ_{\max}) dos 22 provetes de granito do Porto, retirados de sete pedras do Museu do Vinho do Porto, foram determinados pelo ensaio de compressão uniaxial de acordo com a norma NP EN 1926 (2008). Os ensaios efetuaram-se no LEMC, usando os atuadores 702 – CIL.DE.150kN.100.70.200 e 710 – CIL.DE.300kN.140.40.200 fabricados no INEGI da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O atuador 702 – CIL.DE.150kN.100.70.200 permite medir forças no intervalo entre os 0 kN e os 200 kN com uma classe de calibração 0,5 para o intervalo de 15 kN a 150 kN, tendo como código interno LEMC0051 e foi utilizado nos provetes menos resistentes MVP C6.1, MVP C6.2 e MVP C6.3 (Figura 3.9).



a) Ensaio no provete MVP C6.3 – Início

b) Ensaio no provete MVP C6.3 – Fim

Figura 3.9: Ensaio para a determinação da resistência à compressão uniaxial com o atuador 702 – CIL.DE.150kN.100.70.200

O atuador 710 – CIL.DE.300kN.140.40.200 permite medir forças no intervalo entre os 0 kN e os 300 kN com uma classe de calibração 0,5 para o intervalo de 30 kN a 295 kN, tendo como código interno LEMC0120. Este atuador foi empregue para ensaiar todos os provetes (Figura 3.10) à exceção dos provetes MVP C6.1, MVP C6.2 e MVP C6.3.



a) Ensaio no provete MVP C1.1 – Início



b) Ensaio no provete MVP C1.1 – Fim



c) Ensaio no provete MVP C2.2 – Início



d) Ensaio no provete MVP C2.2 – Fim

Figura 3.10: Ensaio para a determinação da resistência à compressão uniaxial com o atuador 710 – CIL.DE.300kN.140.40.200

3.2.10. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA SUPERFICIAL ATRAVÉS DO ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT

A resistência superficial das pedras de granito foi avaliada através do esclerómetro de Schmidt. O ensaio foi realizado em diversas ombreiras, incluindo a maior parte das de onde foram recolhidos tarolos e na parede do muro de suporte adjacente à Muralha Fernandina onde se havia obtido o tarolo MVP C7.

O objetivo do ensaio é correlacionar a dureza superficial da pedra com a sua resistência à compressão. Este consiste na produção de uma reação elástica pelo impulso de uma massa conhecida, que choca contra o material, sobre uma superfície de contacto. Assim, é possível medir a quantidade de energia recuperada no ressalto da massa, o que permite obter um índice de dureza da superfície ensaiada (valor do ressalto designado por R) sobre uma escala graduada acoplada ao martelo. No ensaio, foi utilizado o esclerómetro C 181 N da Controls do LEMC (Figura 3.11) com uma energia de impacto de 2,21 Nm e uma gama de valores de ressalto (R) de 10 a 100.



Figura 3.11: Ensaio com o esclerómetro de Schmidt C 181 N da Controls

Quanto mais brando for o material, maior é a quantidade de energia que ele absorve e menor é a altura do ressalto. Através desse valor (R) e a partir de um ábaco (Figura 3.12), é possível, tendo em conta a posição do martelo relativamente à superfície a ensaiar e a densidade da rocha, determinar a resistência à compressão uniaxial em MPa da mesma. Salienta-se, que este ensaio é um ensaio superficial, uma vez que os valores determinados são representativos de uma camada até ± 5 cm de profundidade, devendo realizar-se o mais distanciado de discontinuidades como fissuras e fendas, bem como outro tipo de condições que possam adulterar as leituras.

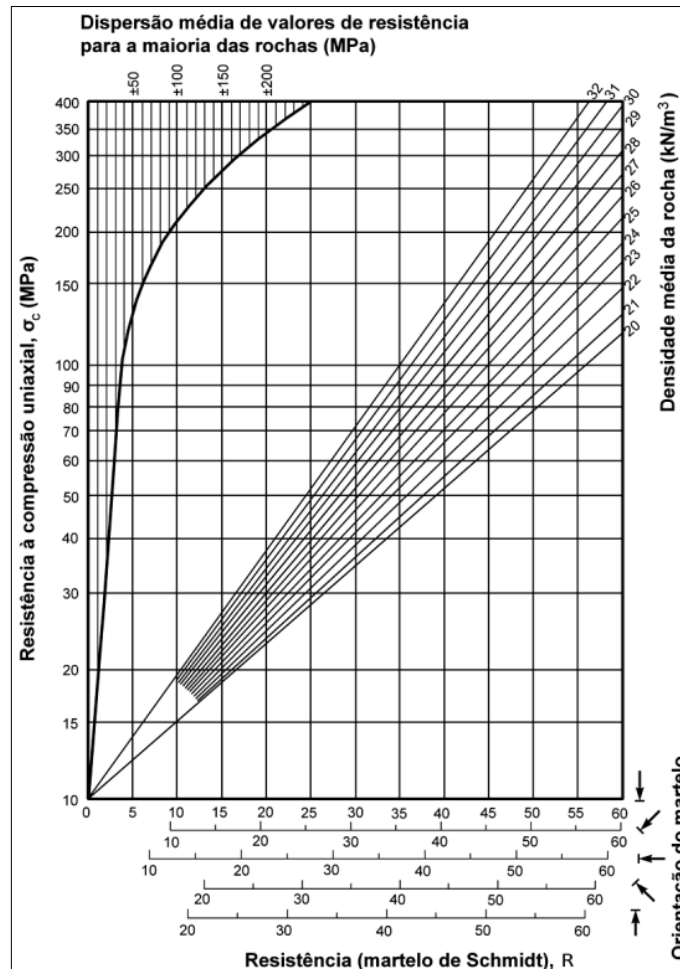


Figura 3.12: Ábaco para determinação da resistência à compressão uniaxial através dos valores obtidos com o esclerómetro de Schmidt (adaptado de Hoek, 2007).

Madureira (2008), citando Guerreiro (2000), refere que este ensaio, para além de permitir obter *in situ*, de uma forma simples, não destrutiva e rápida, a resistência à compressão uniaxial dos materiais a ensaiar, apresenta outro tipo de vantagens, tais como: é utilizado também em laboratório; é económico e expedito; é de fácil leitura e compreensão; é utilizado em vários tipos de rochas. Por outro lado, apresenta desvantagens tais como: é pouco preciso quando utilizado fora da gama de rochas com resistência entre 20-150 MPa; depende da sensibilidade do operador.

De acordo com a ASTM D5873-05 (2001), devem-se efetuar na superfície a ensaiar pelo menos 10 leituras, eliminando-se as leituras parciais que defiram mais de 7 pontos da média das 10 leituras. Se existirem mais de 2 leituras parciais nesta situação, deve-se eliminar o conjunto de 10 leituras efetuadas e repeti-las noutra zona. As normas ISRM (1978, 1981) referem que se deve fazer a média com 50% dos valores mais altos e rejeitar os restantes valores.

Neste trabalho, optou-se por realizar leituras conforme a intensidade de desagregação granular existente na pedra e a sua área, utilizando, no cálculo das médias de cada pedra, o número total de leituras, tal como havia feito Madureira (2008) no Mosteiro da Serra do Pilar em Vila Nova de Gaia.

Com este ensaio, pretende-se obter uma noção dos valores característicos para as diferentes intensidades da desagregação granular existentes nas pedras do edifício e tentar estabelecer valores limite (mínimo e máximo) de referência para cada uma das mesmas. Este ensaio poderá ser utilizado como referência temporal relativa da velocidade de deterioração das pedras, servindo de valor de comparação a futuras aplicações noutra tipo de rochas e monumentos.

A numeração das pedras estudadas foi sequencial, tendo-se iniciado com a pedra número 1, no piso -2, e concluído com a pedra número 36, no piso 3. Cada pedra foi analisada em uma, duas ou três faces, conforme a sua acessibilidade e representatividade. Assim, a cada medição foi associada uma orientação, sendo o lado Norte (N) orientado para a Rua da Reboleira, o lado Sul (S) orientado para o Muro dos Bacalhoeiros, o lado Este (E) orientado para a ponte Luiz I e o lado Oeste (W) orientado para a ponte da Arrábida. Estas denominações encontram-se ilustradas na Figura 3.13.

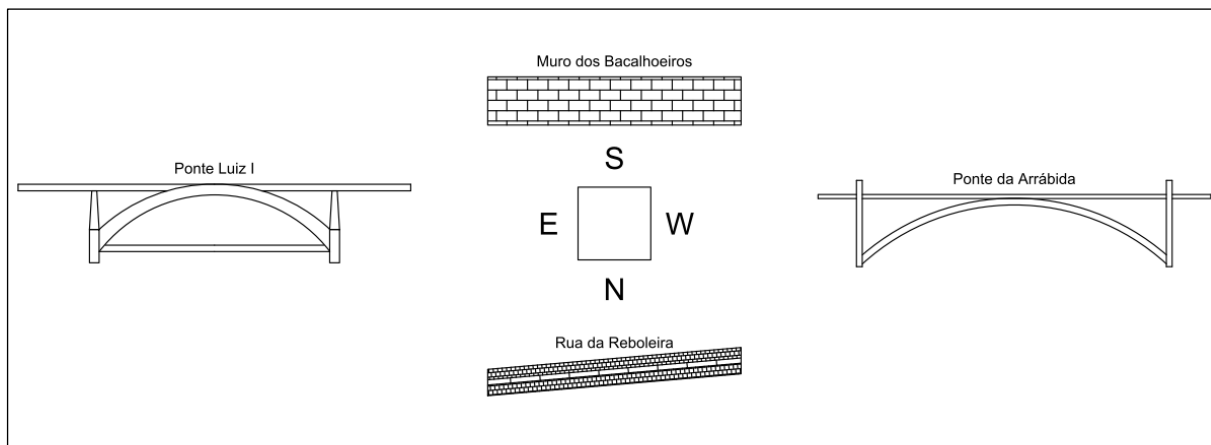


Figura 3.13: Ilustração das orientações dadas de acordo com os pontos de referência

4

ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DO GRANITO DO PORTO

4.1. INTRODUÇÃO

Dos resultados obtidos por MEV foi possível identificar-se diversos minerais de sais solúveis presentes nas amostras de granito do Porto, como cloretos – halite (NaCl) e bischofite ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfatos – gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nitratos – nitratite (NaNO_3) e fosfatos – brushite ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

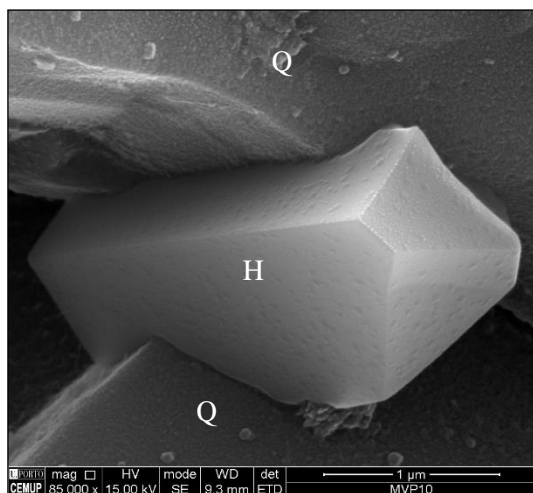
As eflorescências de tipo pulverulento ou *fluffy* formaram-se sobre argamassas de cimento, sendo constituídas pelos sulfatos de sódio thenardite (Na_2SO_4) e mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e pelo sulfato de sódio e potássio aptitalite ($\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$).

A cristalização dos minerais de sais solúveis na rede porosa do granito do Porto, utilizado no edifício do Museu do Vinho do Porto, está na origem da maior parte das deteriorações da pedra. A Figura 4.1 mostra a cristalização de halite ou de gesso no interior da rede porosa do granito do Porto.

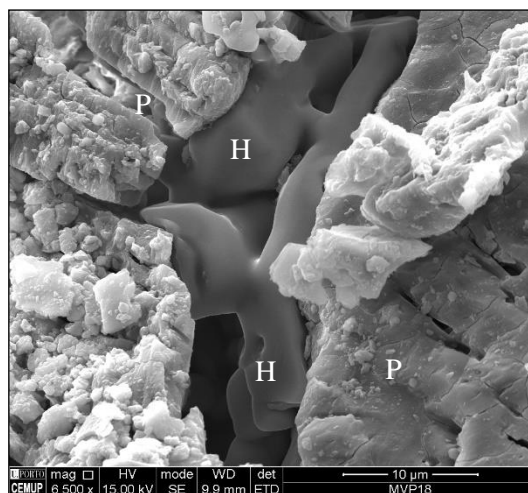
Estes minerais têm ações mais destrutivas quanto maior for as suas solubilidades e higroscopicidade, quanto maior for as suas forças de cristalização que desenvolvem no seu processo de crescimento, bem como quanto maior o número de ocorrências de ciclos de cristalização/dissolução ou cristalização/deliquescência (Amoroso e Fassina, 1983, Hammecker, 1993, Begonha, 2001).

Arnold (1976, 1984) e Arnold e Zehnder (1987) mencionam que os sais solúveis aparecem nos materiais de construção porosos dos edifícios como soluções aquosas ou cristalizados nos poros ou nas superfícies, estando fortemente ligados à migração da água nas paredes. Ocorrem concentrados nos locais onde a água se move numa direção e se evapora, como nas zonas mais altas da humidade ascensional, lateralmente a zonas onde a água corre ao longo da superfície e zonas onde a água atinge a superfície e se evapora. Em qualquer destas zonas, os sais precipitam quando a solução se torna saturada relativamente a um sal particular. Steiger e Zeunert (1996) referem que os sistemas salinos com interesse (constituídos por misturas de sais solúveis) diferem muito em termos das suas características físicas e químicas dos sistemas constituídos por um único sal solúvel. O conceito de humidade de saturação de um sal individual não se aplica às misturas de sais. As humidades relativas de deliquescência dos sais num sistema salino são inferiores às obtidas em soluções com um único sal. Arnold e Kueng (1985) e Arnold e Zehnder (1985, 1987) mostraram que a maior parte dos hábitos cristalinos dos minerais de sais solúveis não são estáveis, transformando-se durante o processo de envelhecimento. Assim, devido às condições de cristalização no interior da rede porosa, os minerais de sais solúveis ocorrem não só sob a forma de cristais idiomórficos e isométricos, mas também sob a forma de pêlos ou de cristais de hábitos

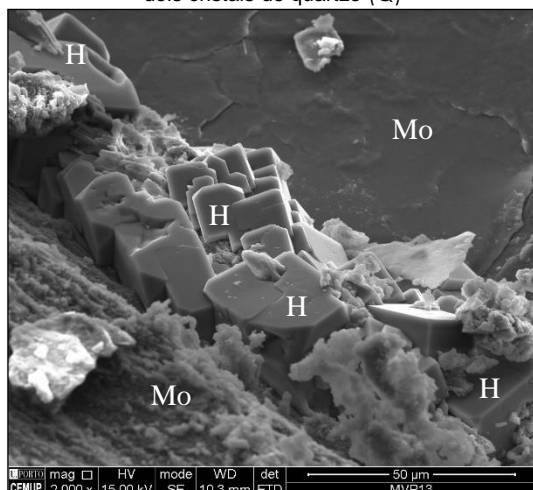
prismático, acicular e tabular, formas e hábitos distintos dos atribuídos a esses minerais pela cristalografia clássica, evidenciando frequentemente figuras de dissolução.



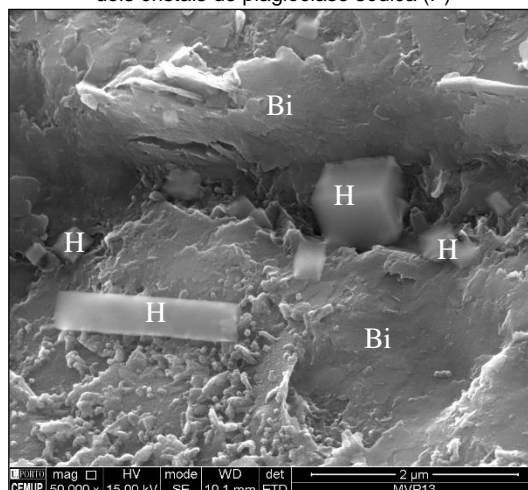
a) MVP 10 – Cristal de halite (H) em fissura intergranular entre dois cristais de quartzo (Q)



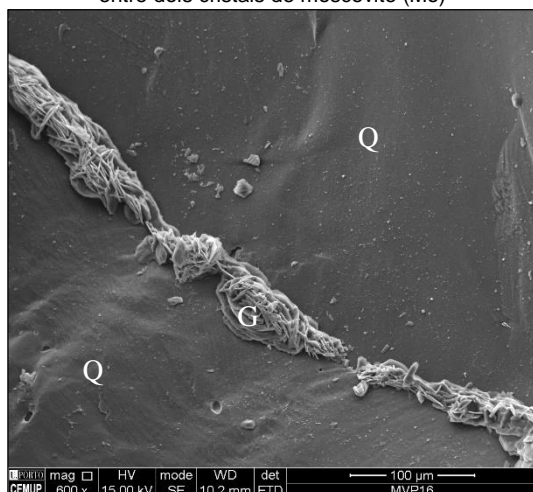
b) MVP 18 – Cristais de halite (H) em fissura intergranular entre dois cristais de plagioclase sódica (P)



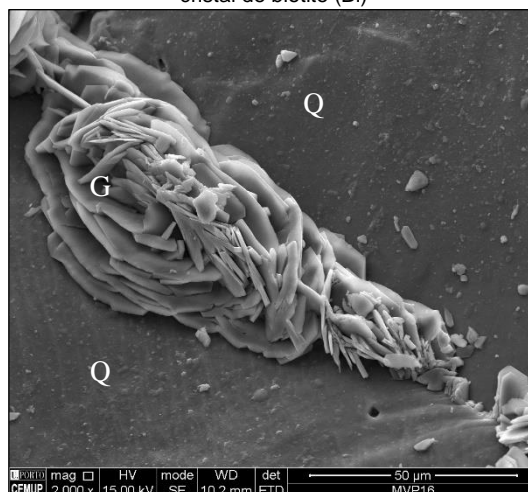
c) MVP 13 – Cristais de halite (H) em fissura intergranular entre dois cristais de moscovite (Mo)



d) MVP 13 – Cristais de halite (H) em fissura intragranular em cristal de biotite (Bi)



e) MVP 16 – Cristais de gesso (G) em fissura intragranular em cristal de quartzo (Q)



f) MVP 16 – Cristais de gesso (G) em fissura intragranular em cristal de quartzo (Q)

Figura 4.1: Cristalização de halite e do gesso no interior da rede porosa do granito - Imagens obtidas por MEV

4.2. DESAGREGAÇÃO GRANULAR

As amostras de desagregação granular de intensidade muito forte (MVP 10, MVP 13 e MVP 18), a amostra de desagregação de intensidade muito forte associada a plaquetas (MVP 14) e a amostra de desagregação granular de intensidade forte (MVP 15) foram observadas e estudadas por MEV.

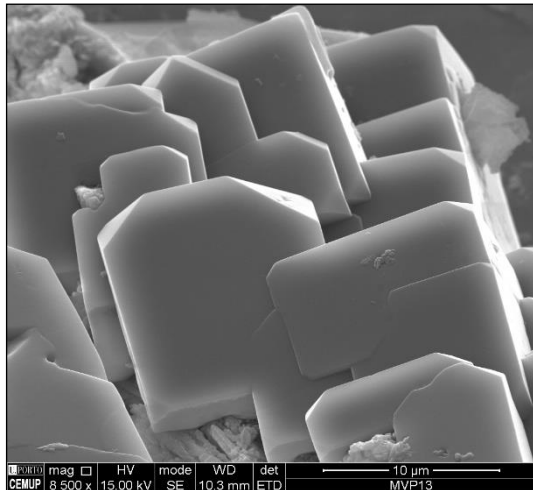
À exceção da amostra MVP 18, que foi obtida na fachada exterior Sul do piso – 1, as restantes foram obtidas no interior do edifício. A desagregação granular está essencialmente associada à cristalização da halite. Identificaram-se ainda o gesso, a nitratite, rara bischofite e rara brushite, conforme é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Desagregação granular – Localização das amostras e minerais de sais solúveis identificados por MEV

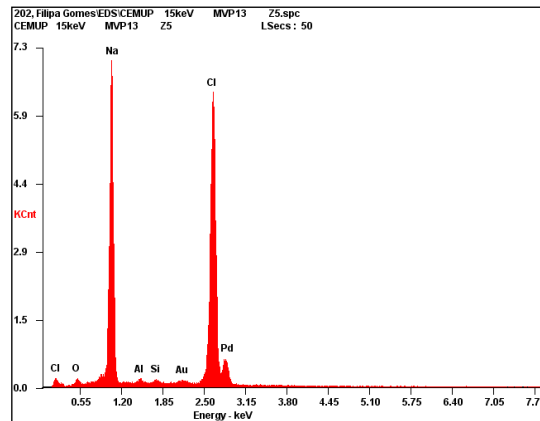
Amostra	Localização	Minerais de sais solúveis
MVP 10	Interior – Fachada Norte – Piso 0	Halite + raro gesso + rara brushite
MVP 13	Interior – Fachada Sul – Piso -1	Halite + raro gesso + rara bischofite
MVP 14	Interior – Fachada Sul – Piso -1	Halite + gesso
MVP 15	Interior – Fachada Sul – Piso 1	Nitratite + halite + gesso
MVP 18	Exterior – Fachada Sul – Piso -1	Halite + gesso + rara brushite

Da Figura 4.2 à Figura 4.9 exibem-se imagens e espectro da halite. Este mineral de sal solúvel aparece sob a forma de:

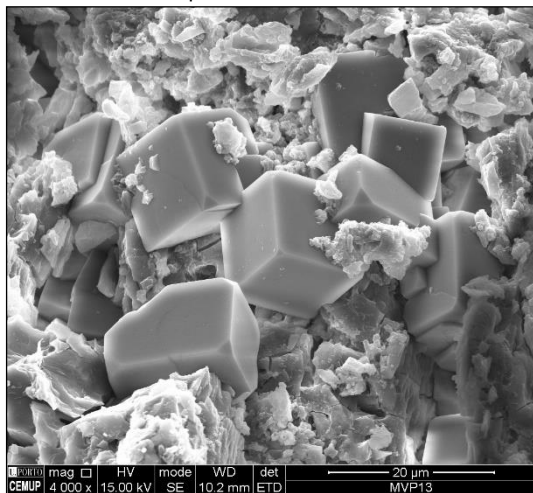
- Cristais idiomórficos com as formas simples cubo + octaedro: Figuras 4.2a, 4.2c, 4.2d, 4.2e, 4.2f, 4.3a, 4.3b, 4.3c, 4.4b, 4.4d, 4.5b, 4.5c, 4.5d e 4.6a;
- Cristais idiomórficos com as formas simples cubo: Figuras 4.2c, 4.2d, 4.3b, 4.3f, 4.4a, 4.4c, 4.5b e 4.5c;
- Cristais idiomórficos com a forma simples octaedro: Figuras 4.3d e 4.3e;
- Cristais idiomórficos com forma acicular: Figuras 4.4b, 4.4f e 4.5a;
- Cristais idiomórficos com forma prismática: Figuras 4.3f, 4.4a, 4.4b, 4.4c, 4.4d, 4.5c e 4.6a;
- Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução associados às formas simples cubo + octaedro: Figuras 4.2f, 4.5d, 4.5f, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9b e 4.9d;
- Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução associados à forma simples cubo: Figura 4.5e;
- Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução associados à forma simples octaedro: Figuras 4.3e;
- Cristais hipidiomórficos prismáticos com figuras de dissolução: Figura 4.4e;
- Cristais xenomórficos inteiramente delimitados por figuras de dissolução: Figuras 4.6c, 4.7, 4.8e, 4.8f, 4.9a, 4.9b e 4.9c.



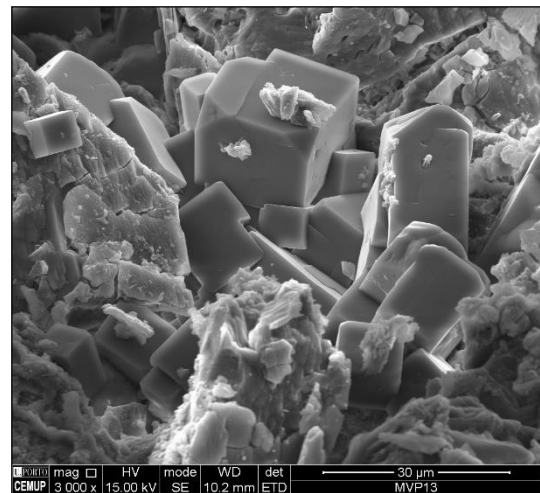
a) MVP 13 – Halite – Cristais idiomórficos com as formas simples cubo + octaedro



b) MVP 13 – Halite – Espectro



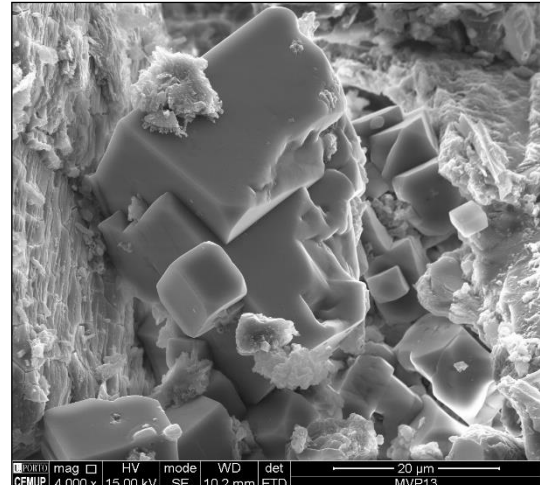
c) MVP 13 – Halite – Cristais com a forma simples cubo ou com as formas simples cubo + octaedro sobre plagioclase



d) MVP 13 – Halite – Cristais com a forma simples cubo ou com as formas simples cubo + octaedro sobre plagioclase

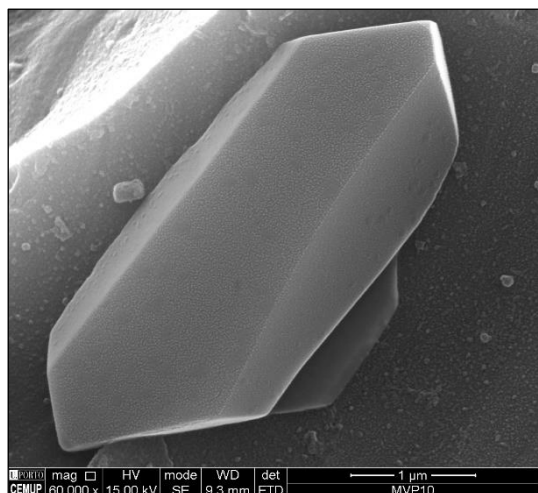


e) MVP 13 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro sobre plagioclase

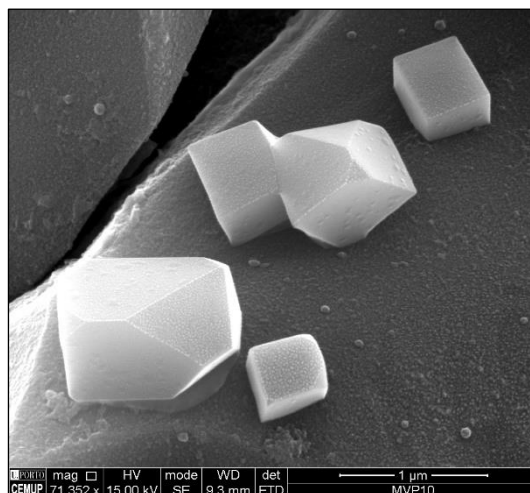


f) MVP 13 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro

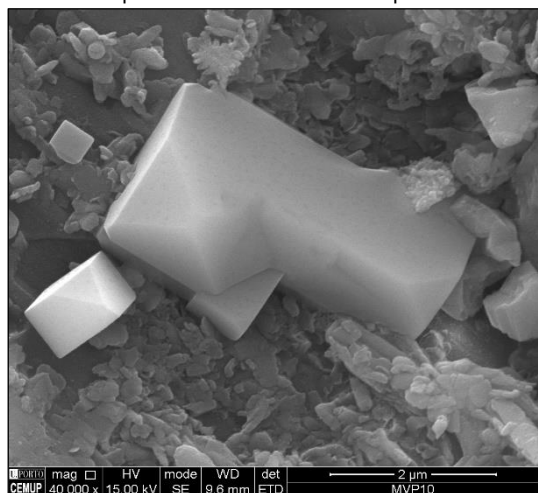
Figura 4.2: Desagregação granular – Halite – cristais com as formas simples de cubo + octaedro ou cubo –
Imagens e espectro obtidos por MEV



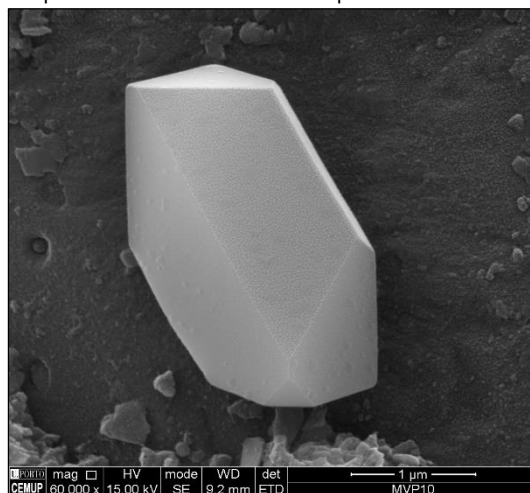
a) MVP 10 – Halite – Cristais idiomórficos com as formas simples cubo + octaedro sobre quartzo



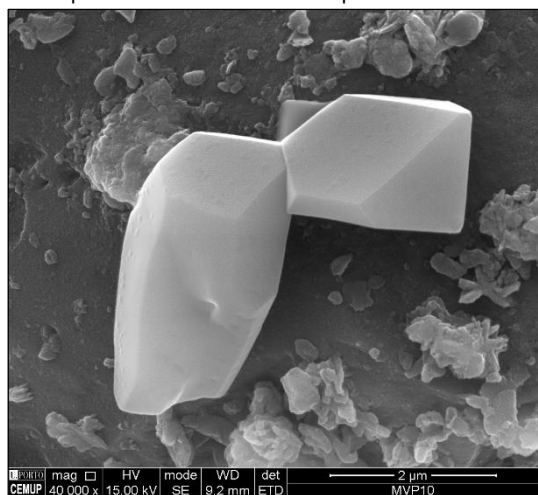
b) MVP 10 – Halite – Cristais idiomórficos com a forma simples cubo e com as formas simples cubo + octaedro



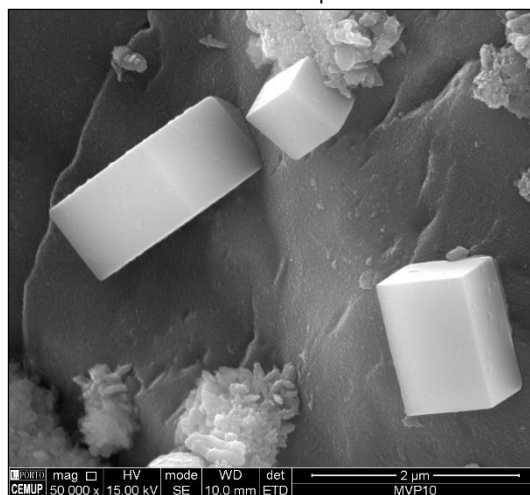
c) MVP 10 – Halite – Cristais idiomórficos com as formas simples cubo + octaedro sobre quartzo e caulinite



d) MVP 10 – Halite – Cristal idiomórfico com a forma simples octaedro sobre quartzo

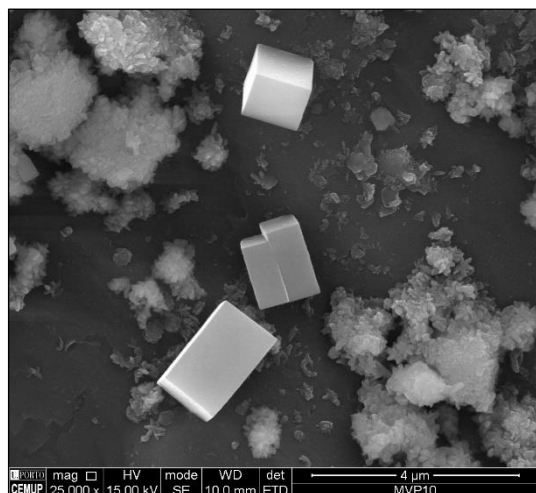


e) MVP 10 – Halite – Cristal idiomórfico com a forma simples octaedro e cristal hipidiomórfico com a forma simples octaedro e com figuras de dissolução, sobre quartzo

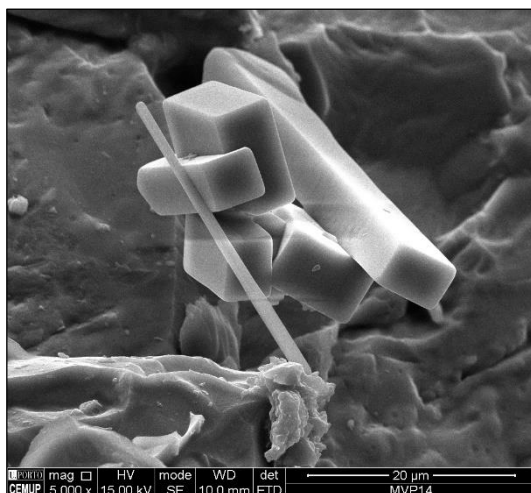


f) MVP 10 – Halite – Cristal cúbico e cristais prismáticos e idiomórficos com a forma simples cubo sobre quartzo

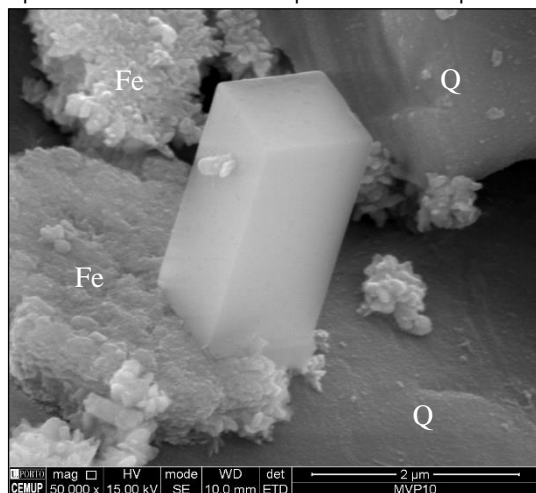
Figura 4.3: Desagregação granular – Halite – cristais com as formas simples cubo + octaedro, octaedro ou cubo –
Imagens obtidas por MEV



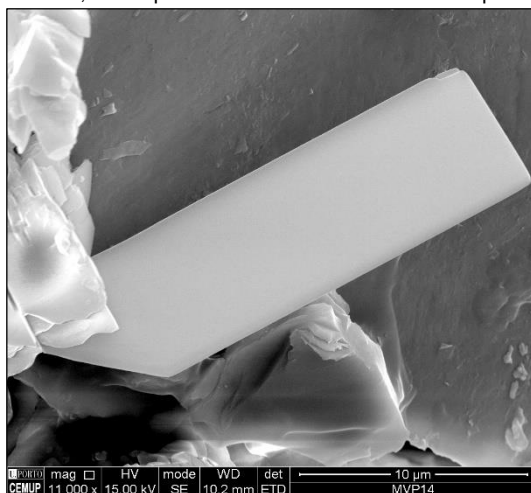
a) MVP 10 – Halite – Cristais idiomórficos cúbicos e prismáticos com a forma simples cubo sobre quartzo



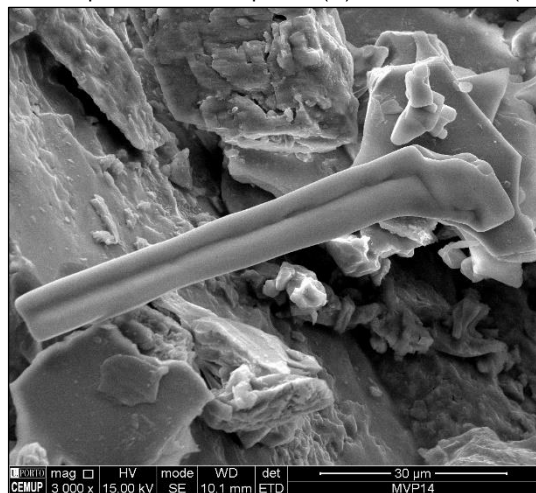
b) MVP 14 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro, cristal prismático e cristal acicular sobre quartzo



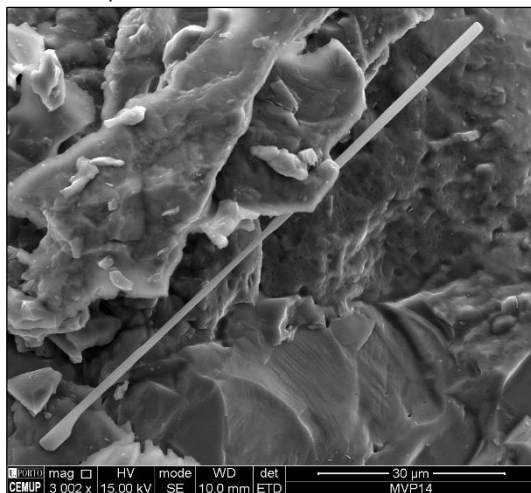
c) MVP 10 – Halite – Cristal prismático idiomórfico com a forma simples cubo sobre quartzo (Q) e óxido de ferro (Fe)



d) MVP 14 – Halite – Cristal prismático com as formas simples cubo + octaedro sobre moscovite



e) MVP 14 – Halite – Cristal prismático exibindo alguma dissolução sobre quartzo

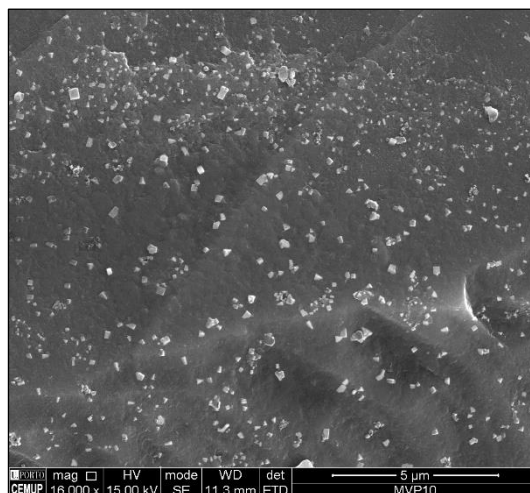


f) MVP 14 – Halite – Cristal acicular e cristais com figuras de dissolução sobre quartzo

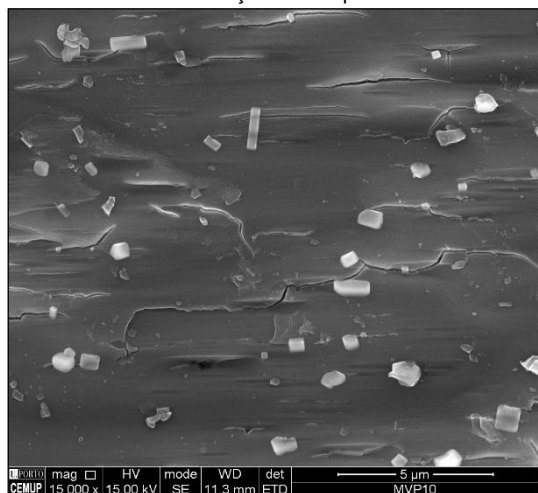
Figura 4.4: Desagregação granular – Halite – Cristais cúbicos, prismáticos ou aciculares com as formas simples cubo + octaedro, cubo ou com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



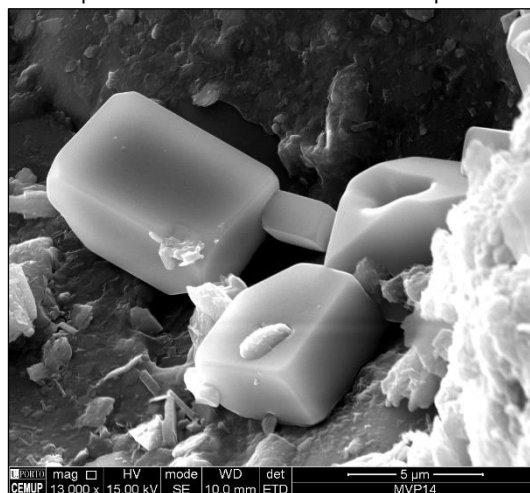
a) MVP 14 – Halite – Cristal acicular e cristais com figuras de dissolução sobre quartzo



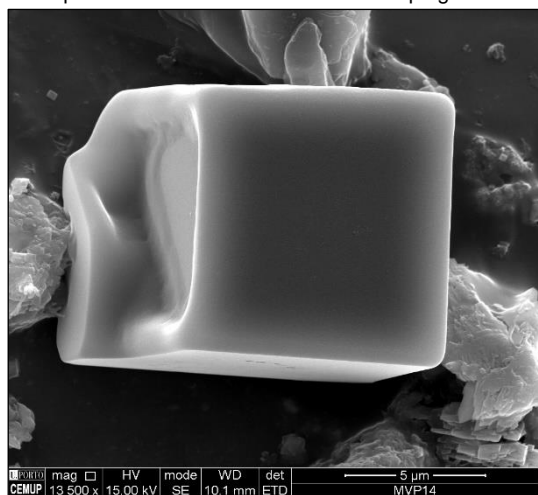
b) MVP 10 – Halite – Cristais diminutos com as formas simples cubo + octaedro ou cubo sobre quartzo



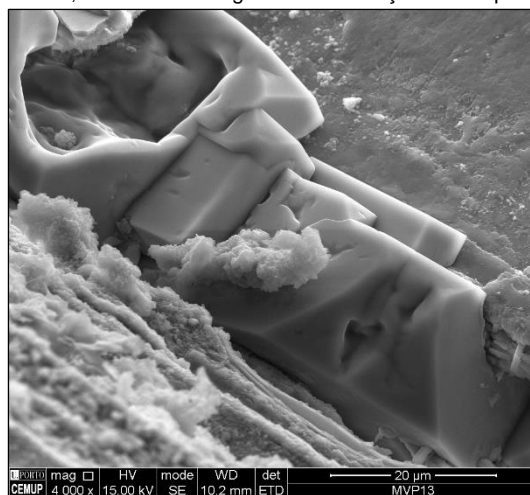
c) MVP 10 – Halite – Cristais diminutos com as formas simples cubo + octaedro ou cubo sobre plagioclase



d) MVP 14 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro, um deles com figuras de dissolução sobre quartzo

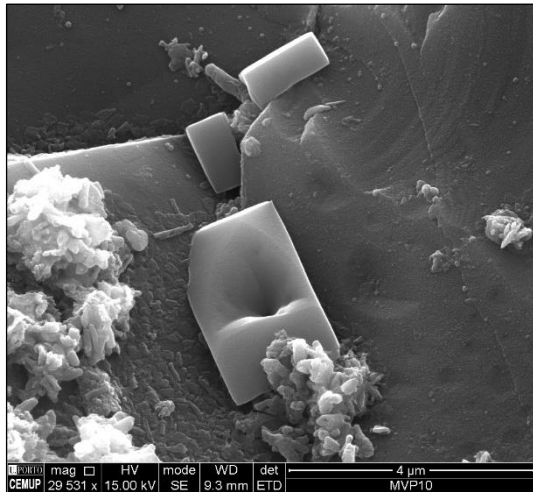


e) MVP 14 – Halite – Cristal cúbico com figuras de dissolução sobre quartzo

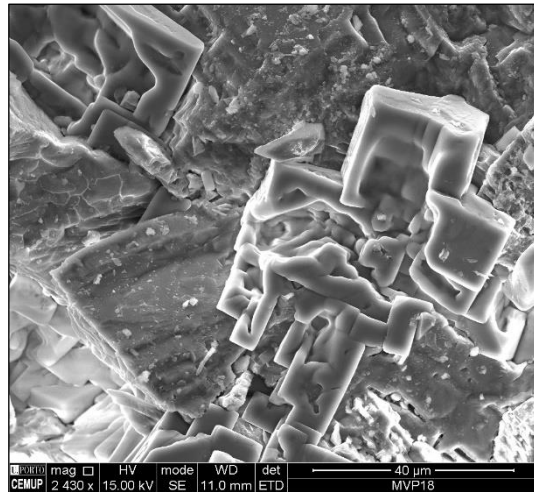


f) MVP 13 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução sobre moscovite

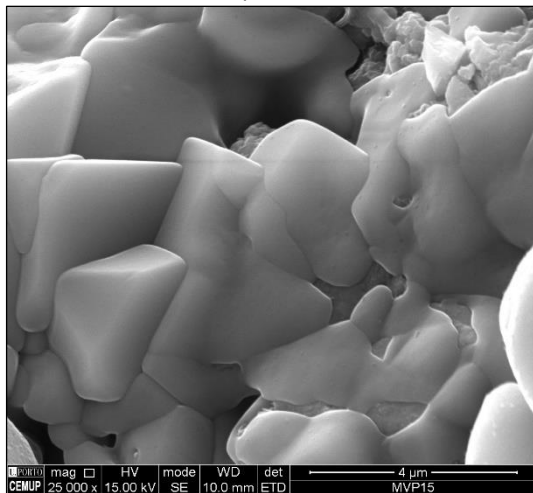
Figura 4.5: Desagregação granular – Halite – Cristais cúbicos com as formas simples cubo + octaedro, cristais aciculares e cristal cúbico com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



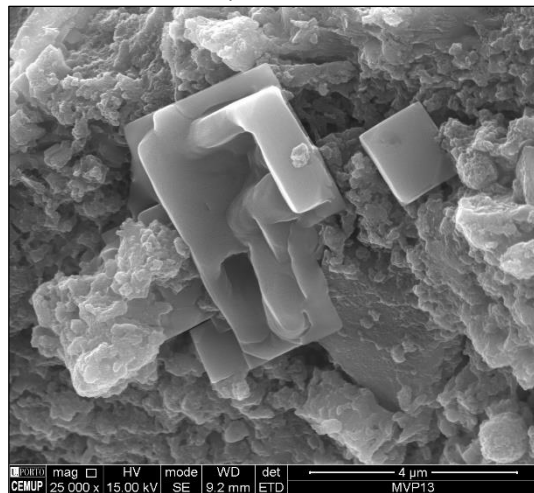
a) MVP 18 – Halite – Cristais prismáticos com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução sobre quartzo



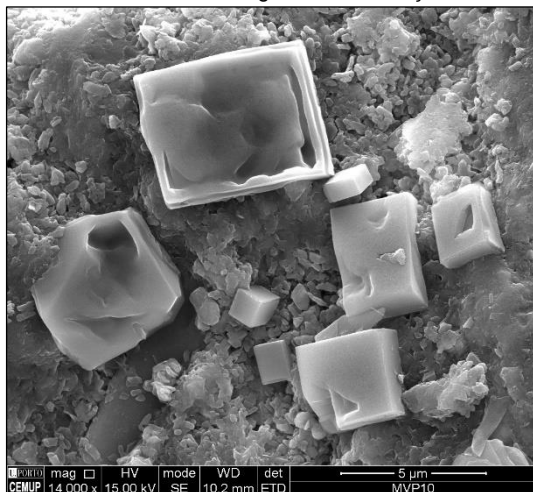
b) MVP 18 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução sobre feldspato potássico



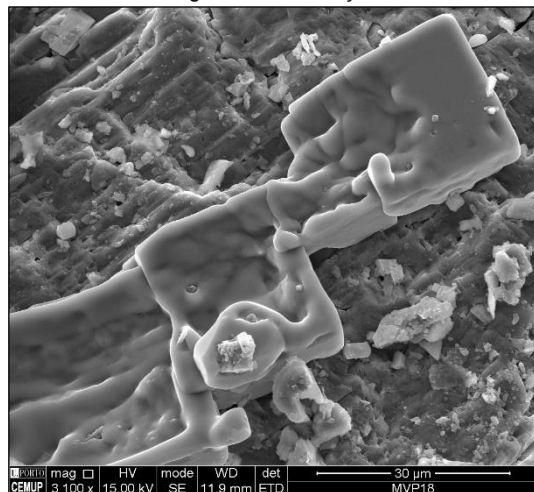
c) MVP 15 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução



d) MVP 13 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução sobre caulinite

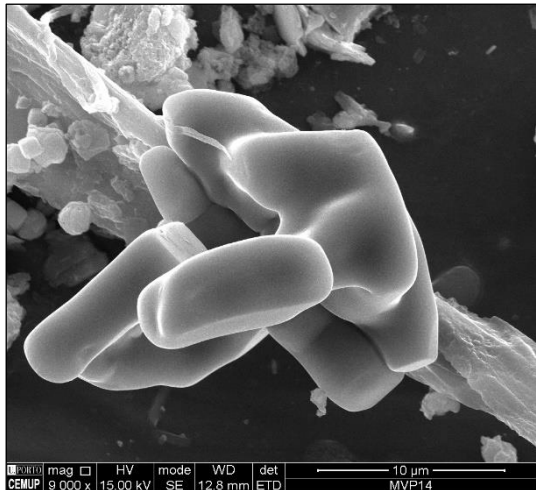


e) MVP 10 – Halite – Cristais cúbicos com as formas simples cubo + octaedro ou cubo e com figuras de dissolução sobre caulinite que reveste a biotite



f) MVP 18 – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução sobre plagioclase

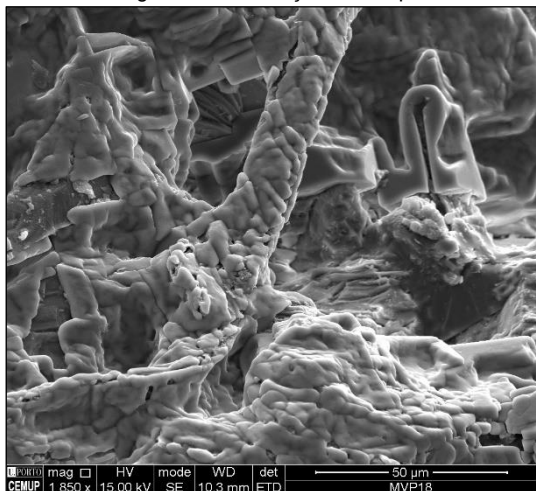
Figura 4.6: Desagregação granular – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



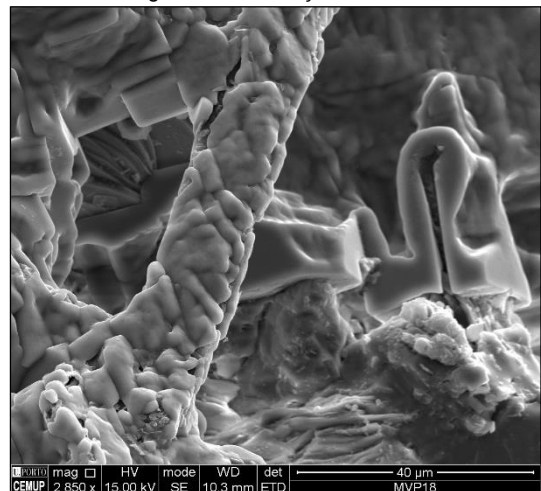
a) MVP 14 – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução sobre quartzo



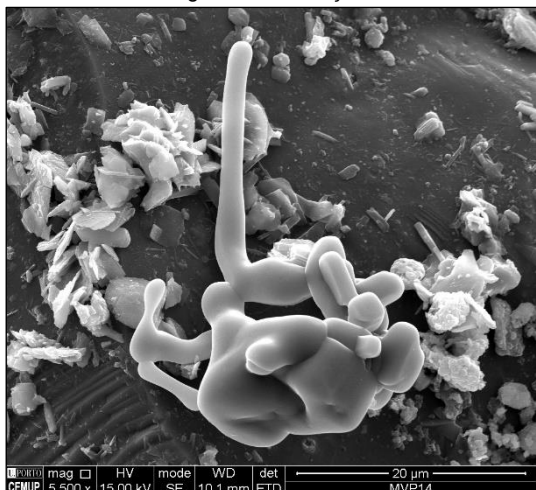
b) MVP 14 – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução sobre biotite



c) MVP 18 – Halite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução



d) MVP 18 – Halite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução

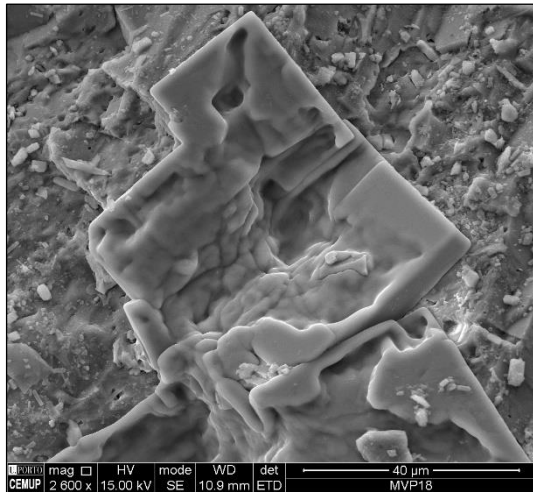


e) MVP 14 – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução sobre quartzo

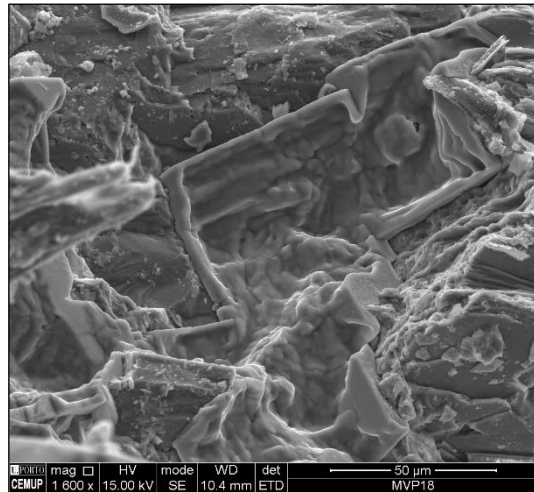


f) MVP 18 – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase

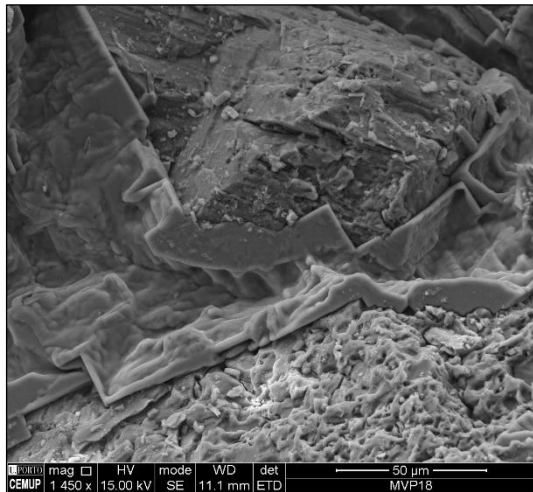
Figura 4.7: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução –
Imagens obtidas por MEV



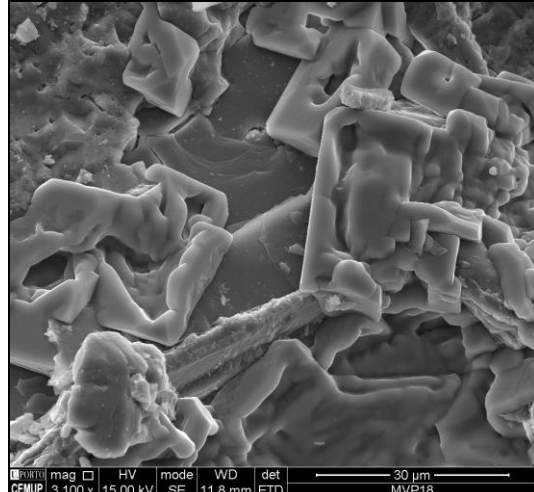
a) MVP 18 – Halite – Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase



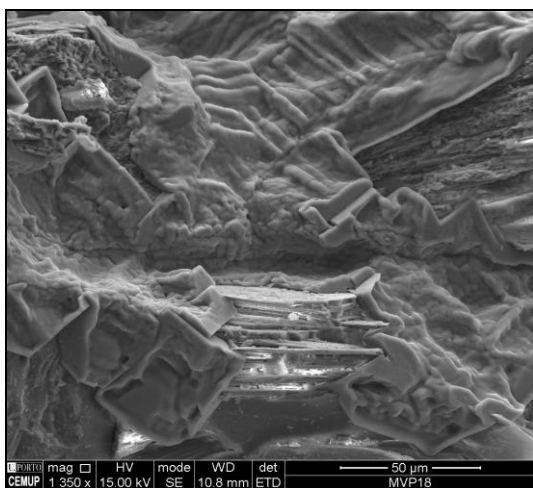
b) MVP 18 – Halite – Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase



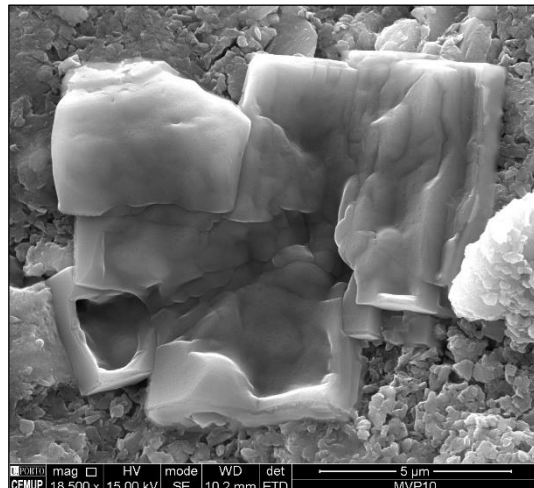
c) MVP 18 – Halite – Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase



d) MVP 18 – Halite (H) – Cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase (P), feldspato potássico (Fk) e moscovite (Mo)

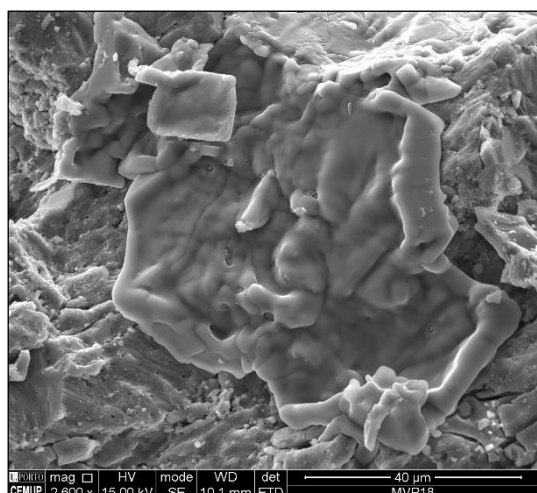


e) MVP 18 – Halite (H), sob a forma de cristais hipidiomórficos e xenomórficos, atapeta feldspato potássico (Fk) e moscovite (Mo)

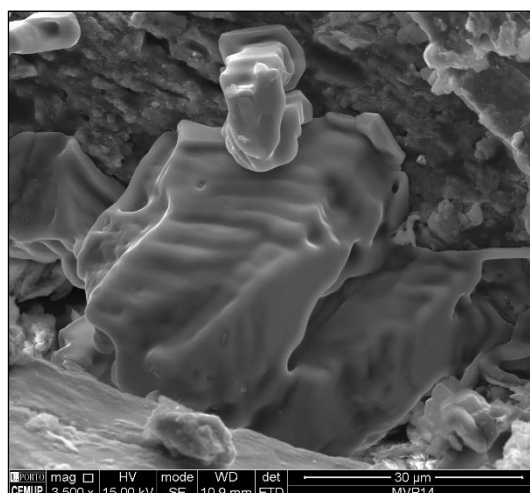


f) MVP 10 – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução sobre caulinite que revestem biotite

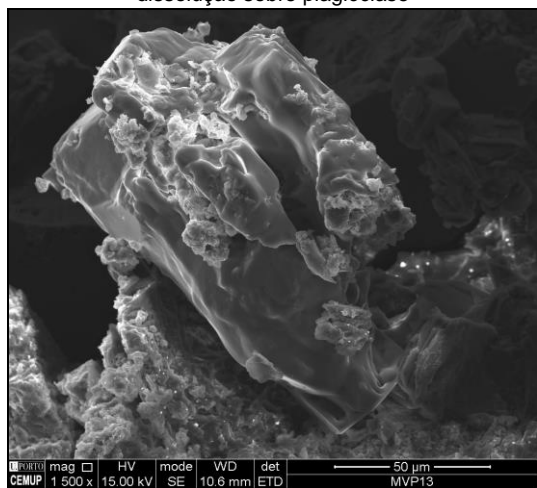
Figura 4.8: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



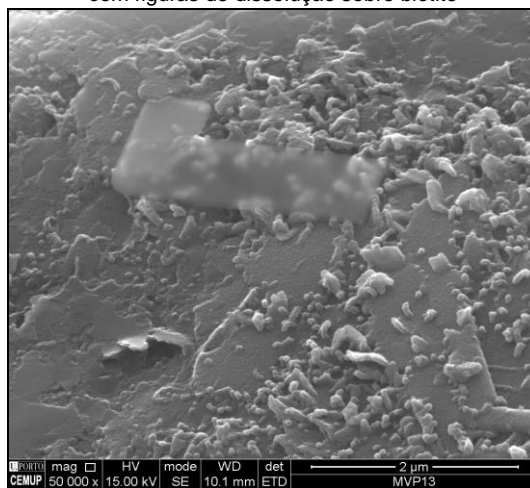
a) MVP 18 – Halite – Cristais xenomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase



b) MVP 14 – Halite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre biotite



c) MVP 13 – Halite (H) – Cristais xenomórficos com figuras de dissolução

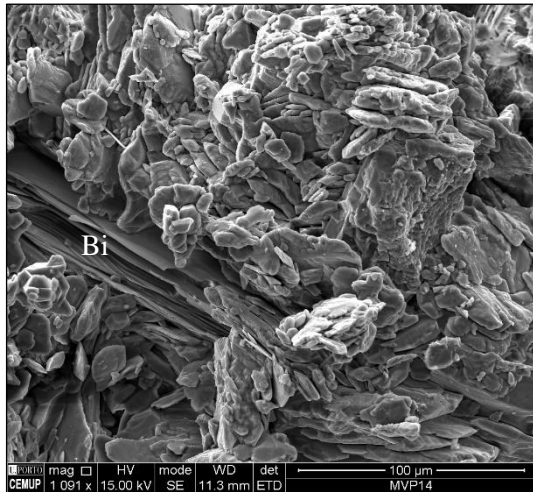


d) MVP 13 – Cristal hipidiomórfico de halite (H) “transparente” com figuras de dissolução sobre biotite (Bi)

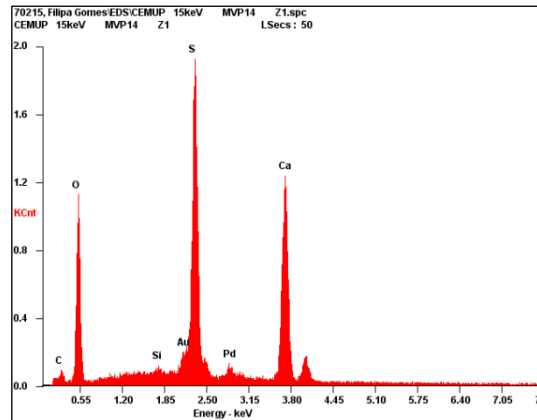
Figura 4.9: Desagregação granular – Halite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV

Das Figura 4.10 à Figura 4.12 exibem-se imagens e espectro do gesso que se apresenta como:

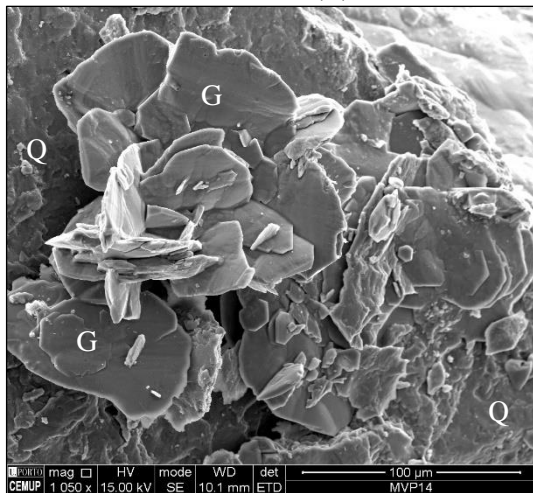
- cristais hipidiomórficos lamelares: Figuras 4.10a e 4.12a;
- cristais hipidiomórficos lamelares pseudo-hexagonais: Figuras 4.10c, 4.10d, 4.10e, 4.12a e 4.12b;
- cristais hipidiomórficos em forma de ponta de lança: Figuras 4.10a, 4.10f, 4.11a, 4.11b, 4.11c, 4.11d e 4.12c;
- cristais hipidiomórficos isométricos: Figuras 4.10c e 4.10f;
- cristais idiomórficos lamelares pseudo-hexagonais: Figuras 4.10d, 4.10e e 4.11d;
- cristais xenomórficos lamelares: Figuras 4.11c, 4.11f e 4.12a;
- cristais xenomórficos isométricos: Figuras 4.10a, 4.11d, 4.11e, 4.12b e 4.12c;
- cristais xenomórficos isométricos integralmente delimitados por figuras de dissolução: Figuras 4.11f, 4.12d, 4.12e e 4.12f.



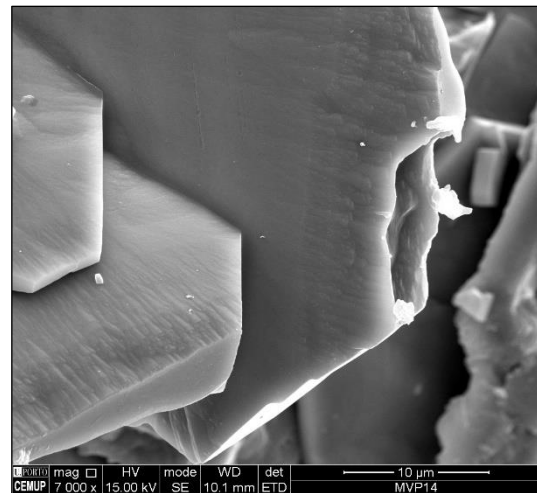
a) MVP 14 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos e hipidiomórficos lamelares ou em forma de ponta de lança sobre biotite (Bi)



b) MVP 14 – Gesso – Espectro



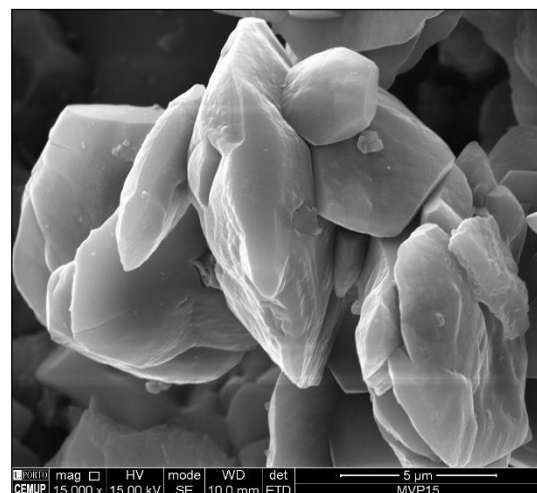
c) MVP 14 – Gesso (G) – Cristais hipidiomórficos isométricos, hipidiomórficos lamelares, alguns com hábito pseudo-hexagonal sobre quartzo (Q)



d) MVP 14 – Gesso – Cristais idiomórficos e hipidiomórficos lamelares com hábito pseudo-hexagonal

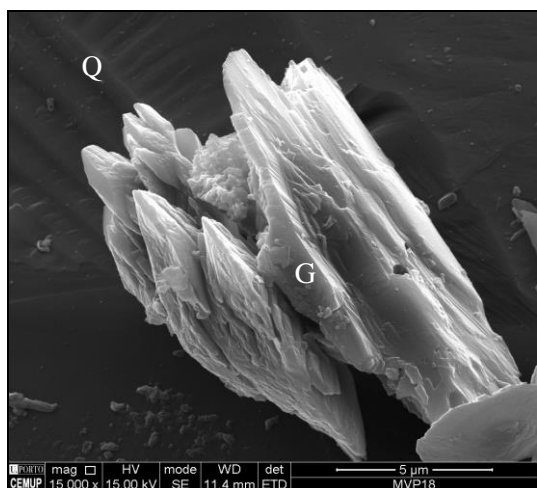


e) MVP 14 – Gesso – Cristais idiomórficos e hipidiomórficos lamelares com hábito pseudo-hexagonal

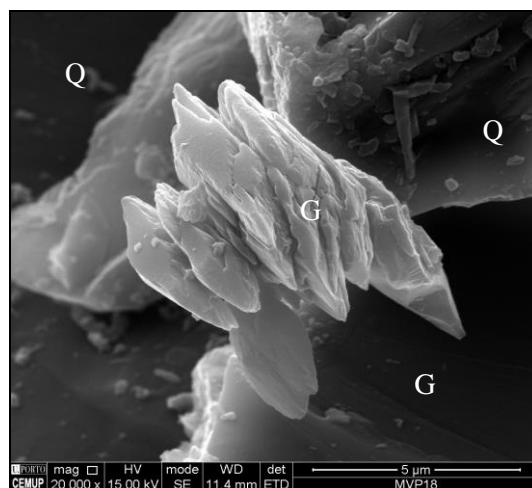


f) MVP 15 – Gesso – Cristais hipidiomórficos isométricos ou em forma de ponta de lança

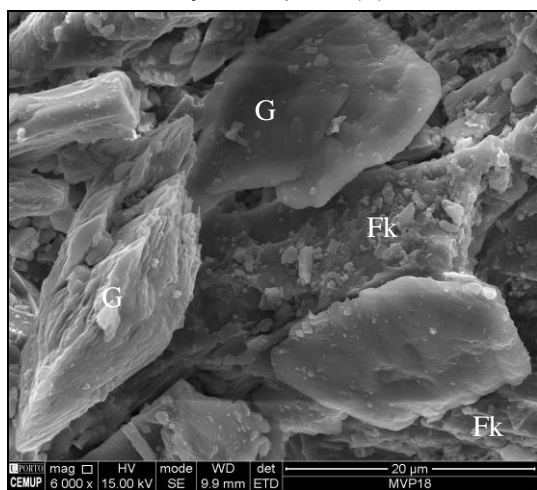
Figura 4.10: Desagregação granular – Gesso – Cristais idiomórficos e hipidiomórficos, lamelares, com hábito pseudo-hexagonal, em forma de ponta de lança e isométricos – Imagens e espectro obtidos por MEV



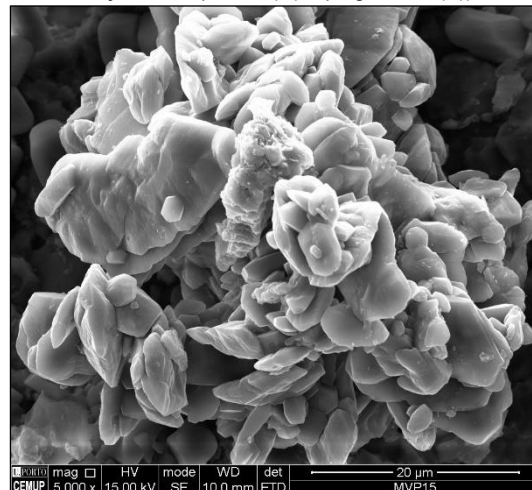
a) MVP 18 – Gesso (G) – Cristais em forma de ponta de lança sobre quartzo (Q)



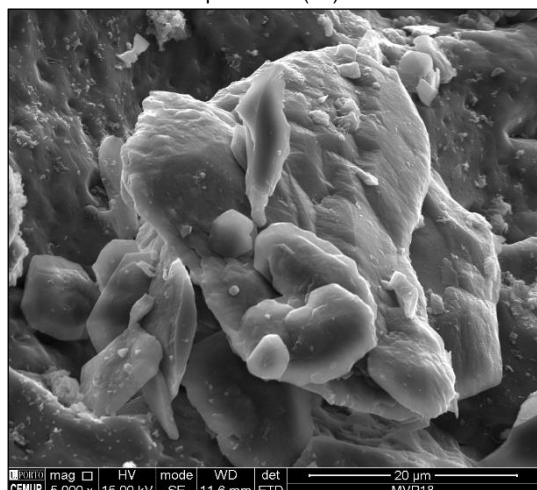
b) MVP 18 – Gesso (G) – Cristais em forma de ponta de lança sobre quartzo (Q) e plagioclase (P))



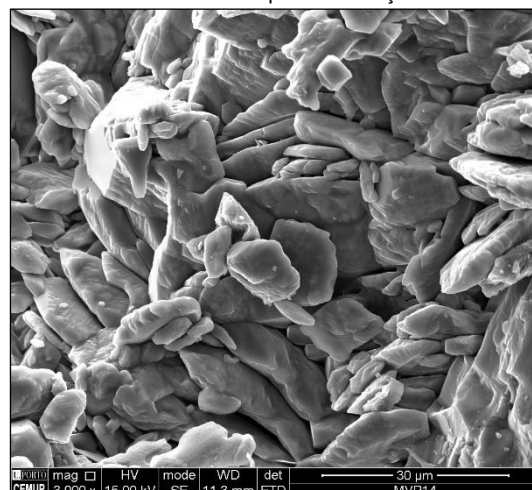
c) MVP 18 – Gesso (G) – Cristais xenomórficos lamelares e hipidiomórficos em forma de ponta de lança sobre feldspato potássico (Fk)



d) MVP 15 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos e hipidiomórficos lamelares, com hábito pseudo-hexagonal ou em forma de ponta de lança

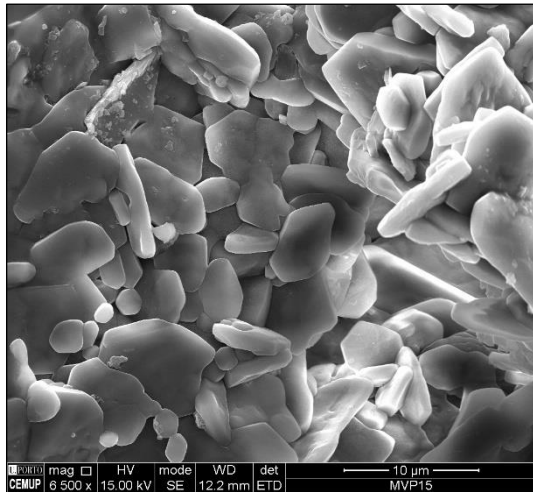


e) MVP 18 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos e sobre quartzo

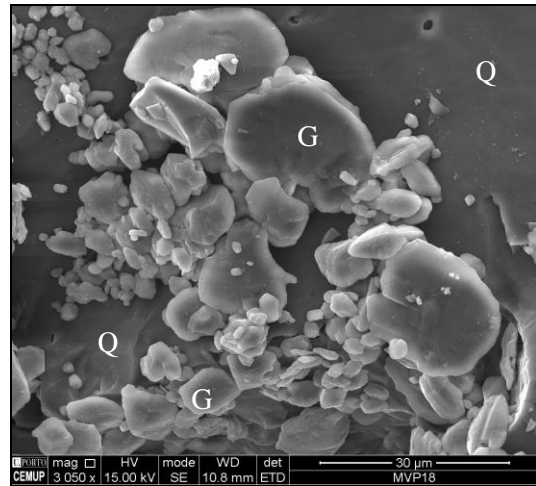


f) MVP 14 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos com figuras de dissolução ou lamelares

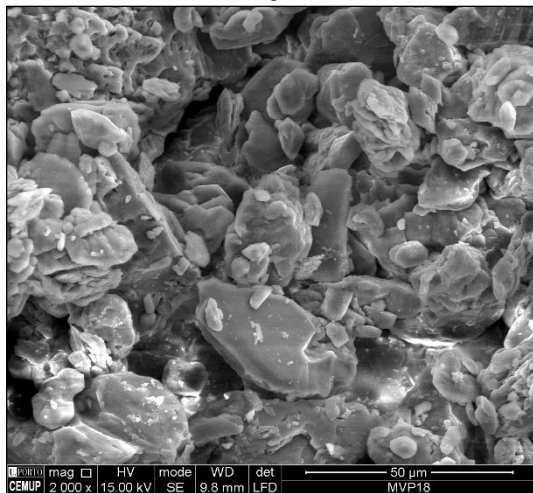
Figura 4.11: Desagregação granular – Gesso – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos, lamelares, com hábito pseudo-hexagonal, em forma de ponta de lança, isométricos e cristais com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



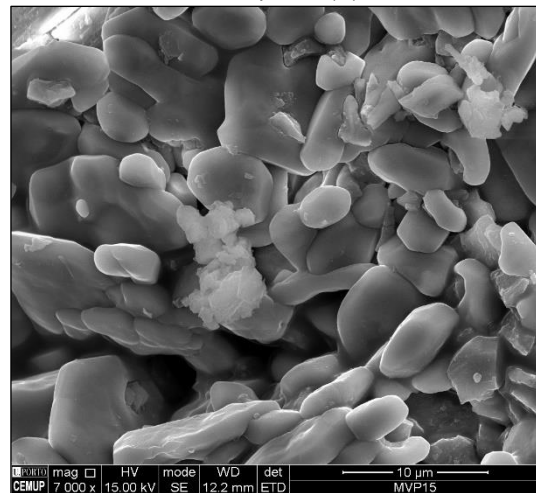
a) MVP 15 – Gesso – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos, lamelares, por vezes com hábito pseudo-hexagonal



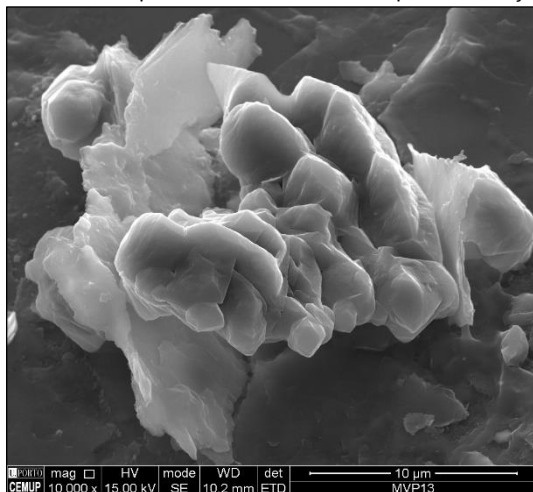
b) MVP 18 – Gesso (G) – Cristais xenomórficos isométricos e hipidiomórficos lamelares com hábito pseudo-hexagonal sobre quartzo (Q)



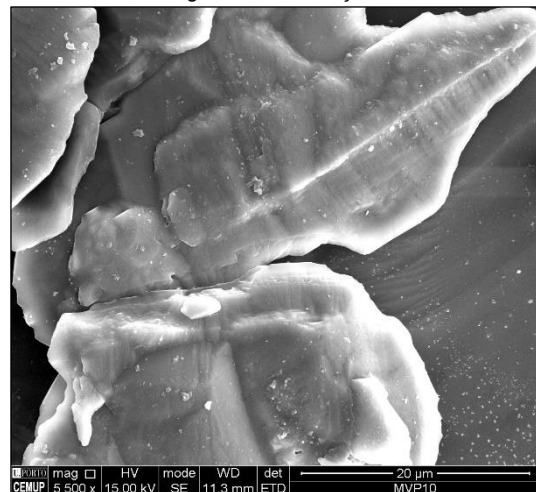
c) MVP 18 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos ou lamelares e hipidiomórficos em forma de ponta de lança



d) MVP 15 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos com figuras de dissolução



e) MVP 13 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos com figuras de dissolução sobre moscovite



f) MVP 10 – Gesso – Cristais xenomórficos isométricos com figuras de dissolução sobre quartzo

Figura 4.12: Desagregação granular – Gesso – Cristais isométricos xenomórficos, cristais lamelares com hábito pseudo-hexagonal e com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV

A nitratite, representada nas Figura 4.13 e 4.14, apenas foi identificada na amostra MVP 15. Este mineral de sal solúvel exibe-se sob a forma de:

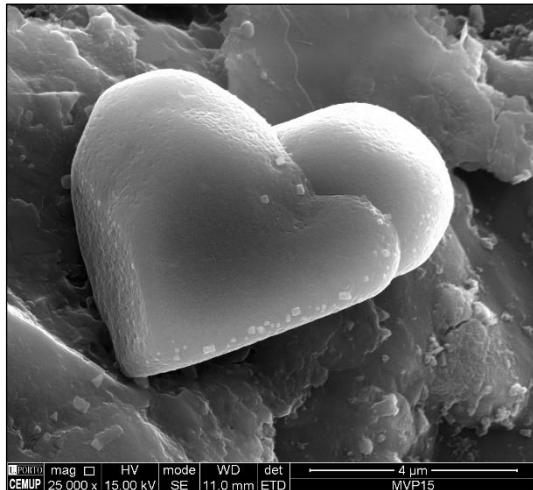
- cristais hipidiomórficos isométricos: Figuras 4.13a e 4.13d;
- cristais idiomórficos prismáticos: Figura 4.13c;
- cristais hipidiomórficos em forma de pêlo: Figura 4.13f;
- cristais hipidiomórficos aciculares: Figura 4.14a;
- cristais xenomórficos em forma de pêlo com figuras de dissolução: Figuras 4.13e, 4.13f, 4.14a, 4.14b e 4.14c;
- cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução: Figura 4.14d;
- cristais xenomórficos com figuras de dissolução: Figuras 4.14d, 4.14e e 4.14f.

A brushite é rara e identificou-se apenas nas amostras MVP 10 e MVP 18. Este mineral solúvel observa-se como cristais hipidiomórficos prismáticos com figuras de dissolução (Figura 4.15a).

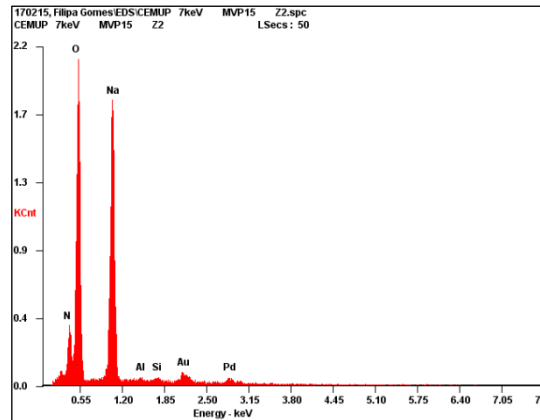
A bischofite é muito rara e apenas se identificou na amostra MVP 13. Este mineral solúvel exibe-se como cristal xenomórfico com figuras de dissolução (Figura 4.15c).

Nas amostras de desagregação granular ainda foi possível observar raras algas normalmente associadas a cristais de halite, como observado na Figura 4.16.

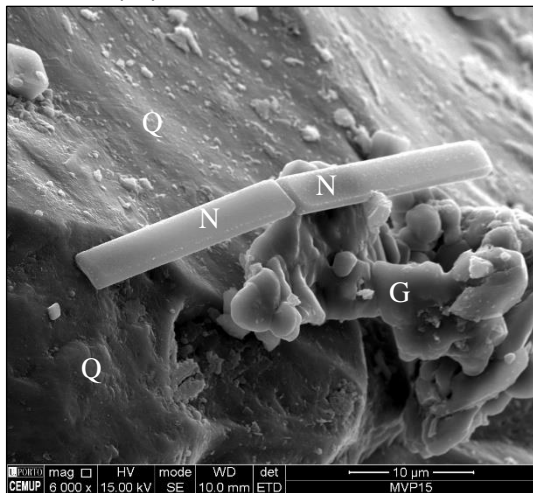
A halite e a nitratite, minerais de sais muito solúveis, aparecem associadas entre si (Figura 4.17a) e a minerais menos solúveis, designadamente o gesso (Figuras 4.17b e 4.17c) e a brushite (Figura 4.17d).



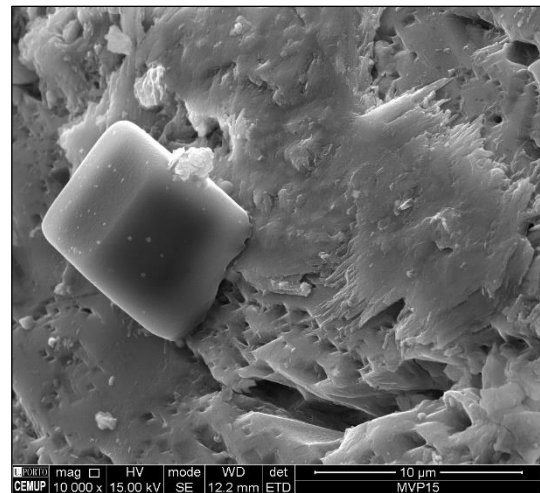
a) MVP 15 – Nitratite – Cristal hipidiomórfico isométrico sobre quartzo. À superfície da nitratite formaram-se pequeníssimos cristais de halite



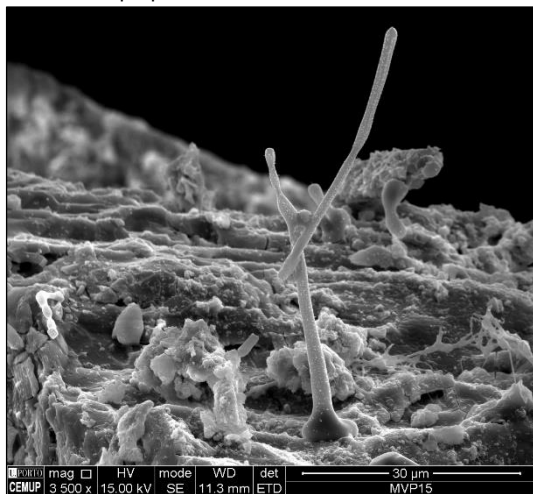
b) MVP 15 – Nitratite – Espectro



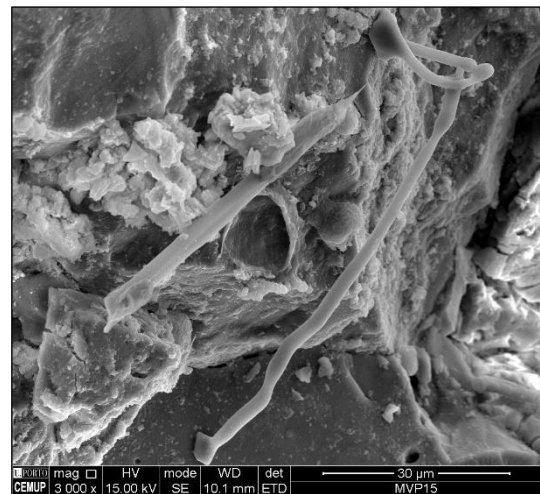
c) MVP 15 – Nitratite (N) sob a forma de cristais idiomórficos prismáticos e cristais de gesso (G) sobre quartzo (Q). À superfície da nitratite formaram-se pequeníssimos cristais de halite



d) MVP 15 – Nitratite – Cristal hipidiomórfico isométrico sobre plagioclase. À superfície da nitratite formaram-se pequeníssimos cristais de halite

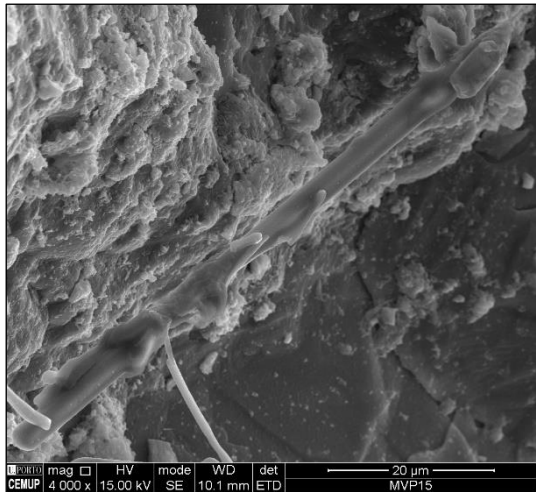


e) MVP 15 – Nitratite – Cristais xenomórficos em forma de pêlo com figuras de dissolução sobre plagioclase. Sobre a nitratite formaram-se pequeníssimos cristais de halite

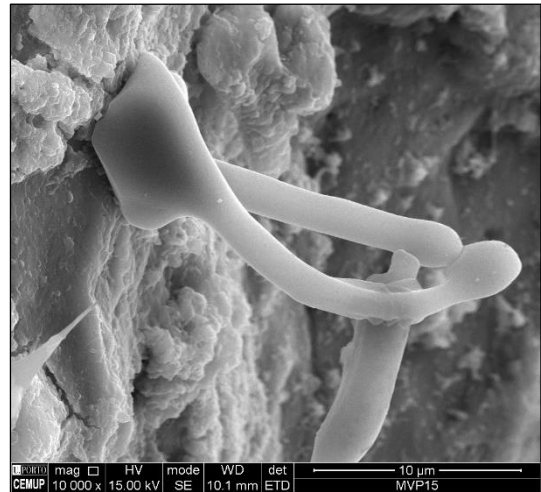


f) MVP 15 – Nitratite – Cristais hipidiomórficos e xenomórficos em forma de pêlo com figuras de dissolução

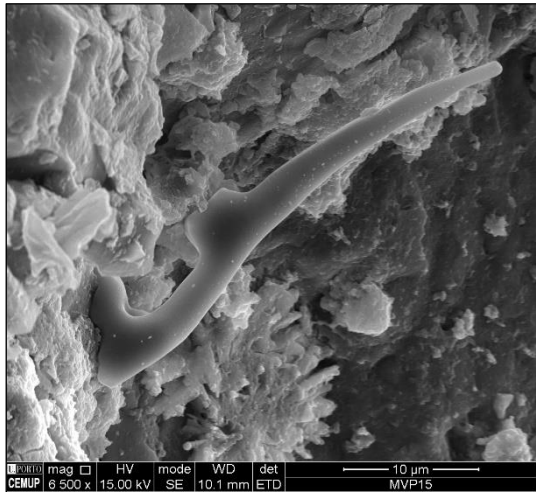
Figura 4.13: Desagregação granular – Nitratite – Imagens e espectro obtidos por MEV



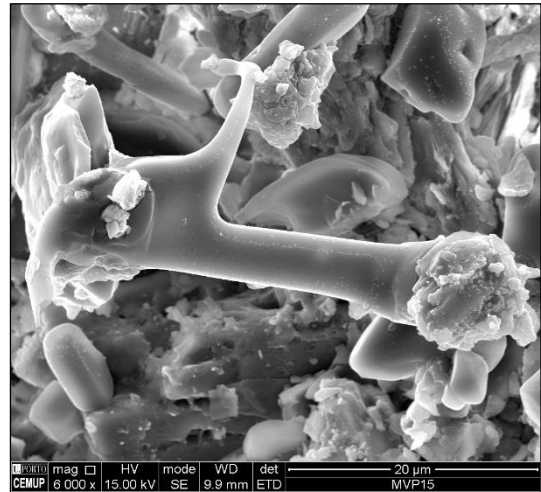
a) MVP 15 – Nitratite – Cristais xenomórficos em forma de pêlo e hipidiomórfico acicular sobre quartzo



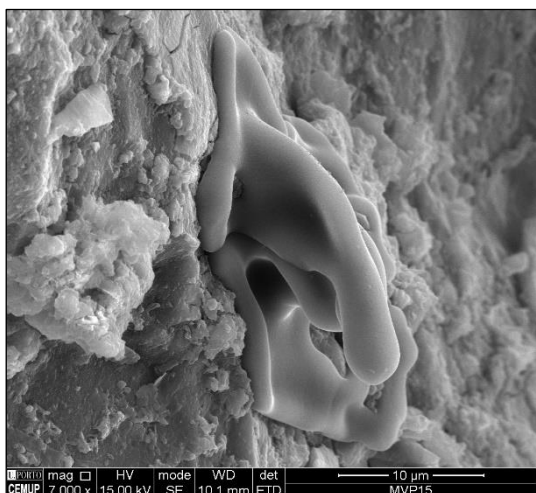
b) MVP 15 – Nitratite – Cristais xenomórficos em forma de pêlo com figuras de dissolução



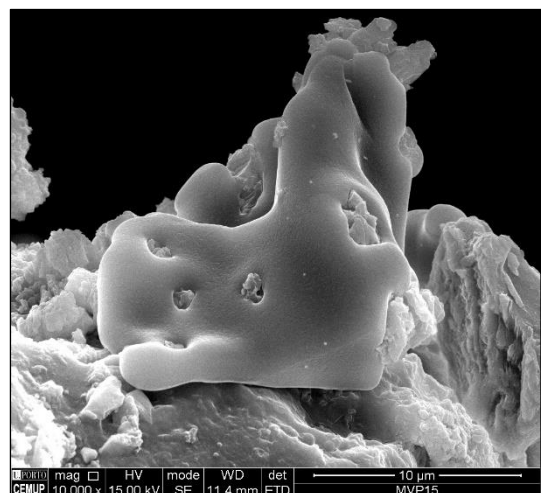
c) MVP 15 – Nitratite – Cristal xenomórfico em forma de pêlo com figuras de dissolução sobre quartzo



d) MVP 15 – Nitratite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre plagioclase e biotite. Sobre a nitratite formaram-se pequeníssimos cristais de halite

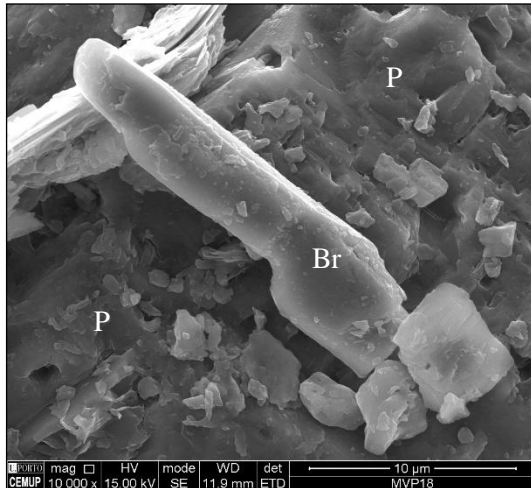


e) MVP 15 – Nitratite – Cristais xenomórficos com figuras de dissolução sobre quartzo

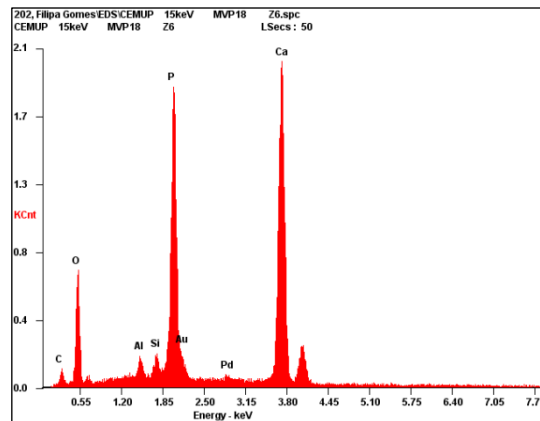


f) MVP 15 – Nitratite – Cristal xenomórfico com figuras de dissolução sobre plagioclase

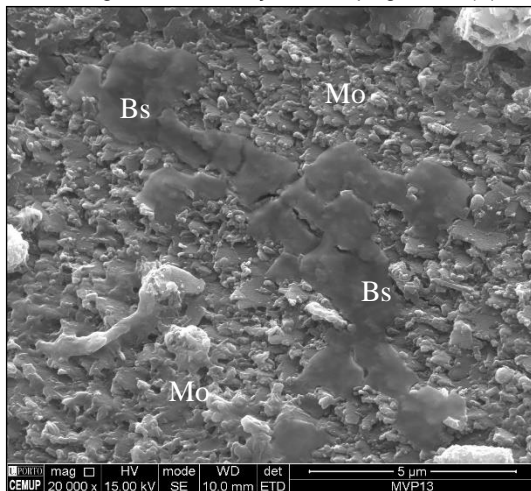
Figura 4.14: Desagregação granular – Nitratite – Cristais xenomórficos e hipidiomórficos com figuras de dissolução– Imagens obtidas por MEV



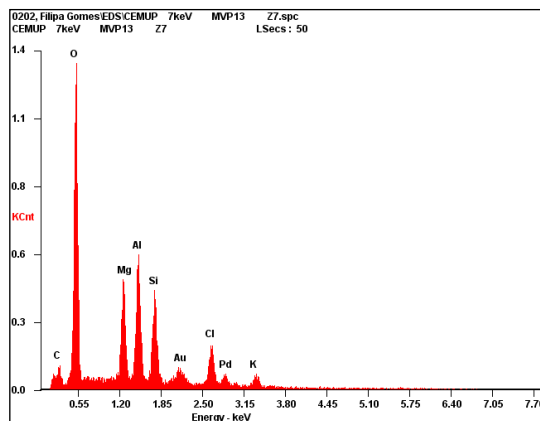
a) MVP 18 – Brushite (Br) – Cristal hipidiomórfico prismático com figuras de dissolução sobre plagioclase (P)



b) MVP 18 – Brushite – Espectro

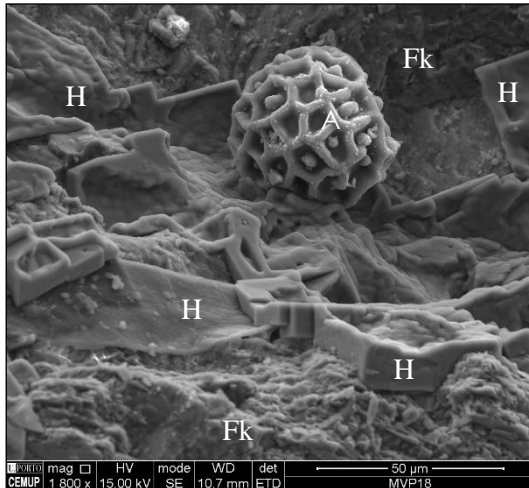


c) MVP 13 – Bischofite (Bs) – cristal xenomórfico com figuras de dissolução sobre moscovite (Mo)



d) MVP 13 – Bischofite – Espectro com interferência da moscovite

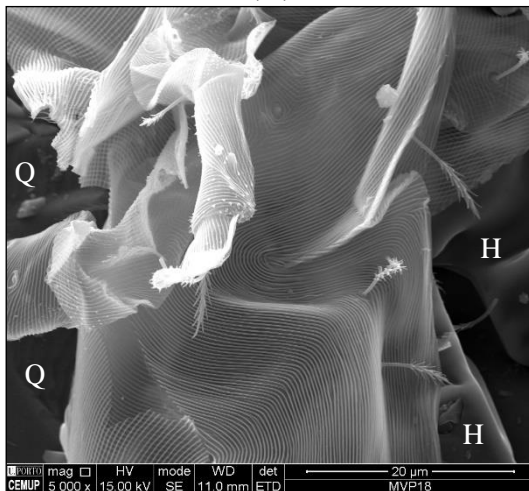
Figura 4.15: Desagregação granular – Brushite e Bischofite – Cristais prismáticos e xenomórficos– Imagens e espectros obtidos por MEV



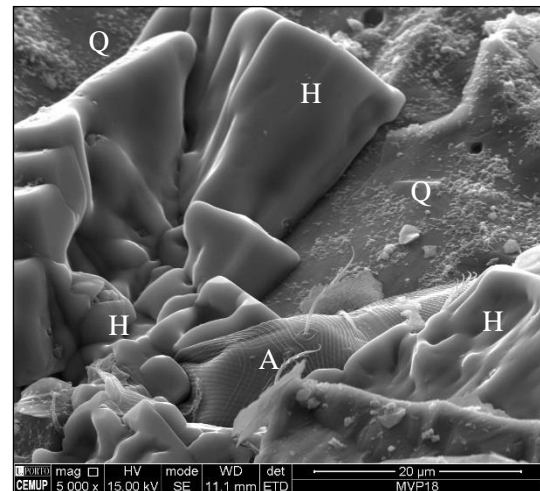
a) MVP 18 – Alga (A) e halite (H) sobre feldspato potássico (Fk)



b) MVP 18 – Alga (A) e halite (H) sobre quartzo (Q)

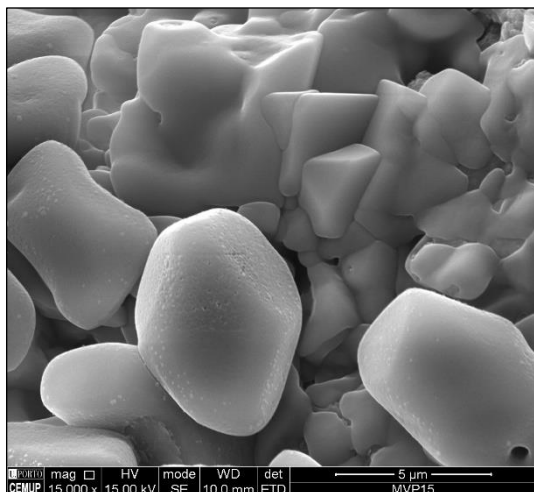


c) MVP 18 – Algas sobre halite(H) e quartzo(Q)

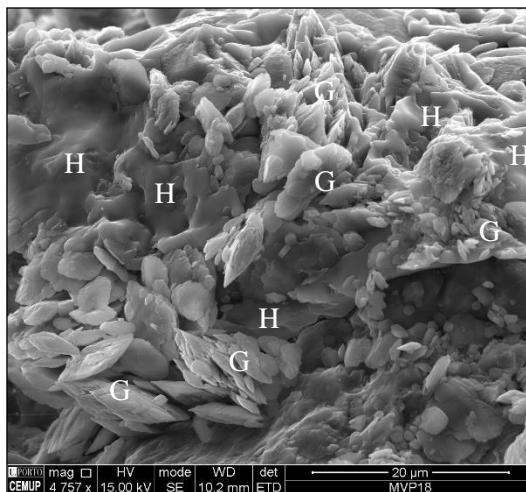


d) MVP 18 – Alga (A) e cristais de halite (H) com figuras de dissolução sobre quartzo (Q)

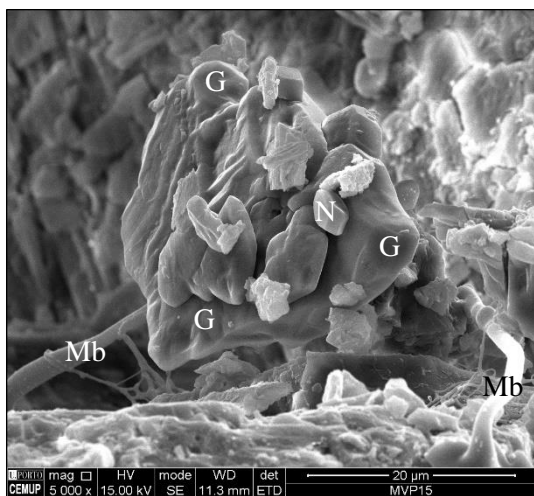
Figura 4.16: Desagregação granular – Imagens de algas – Imagens obtidas por MEV



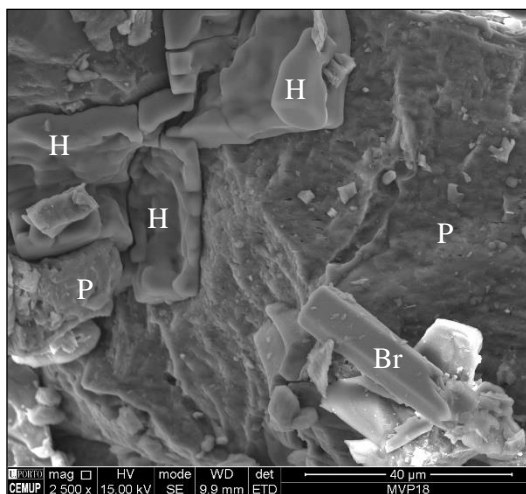
a) MVP 15 – Cristais de halite (H) e cristais de nitratite (N)



b) MVP 18 – Cristais de halite (H) e cristais de gesso (G)



c) MVP 15 – Cristais de nitratite (N), cristais de gesso (G) e fungos (Mb)



d) MVP 18 – Cristais de halite (H) e cristal prismático de brushite (Br) sobre plagioclase (P)

Figura 4.17: Desagregação granular – Imagens da cristalização de halite + nitratite, halite + gesso, nitratite + gesso e halite + brushite – Imagens obtidas por MEV

4.3. PLAQUETAS AFETADAS POR DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE MUITO FORTE

A amostra de plaqueta afetada por desagregação granular de intensidade muito forte MVP 05 foi observada e estudada por MEV. A amostra foi recolhida no interior do edifício na fachada Sul do piso 2.

Como principal responsável por esta deterioração, identificou-se o mineral de sal solúvel halite. Foram ainda identificados raros cristais de brushite e de gesso, conforme se mostra na Tabela 4.2. As Figuras 4.18 a 4.20 exibem imagens e espectros da halite, brushite e gesso.

Tabela 4.2: Plaqueta afetada por desagregação granular de intensidade muito forte – Minerais de sais solúveis identificados por MEV

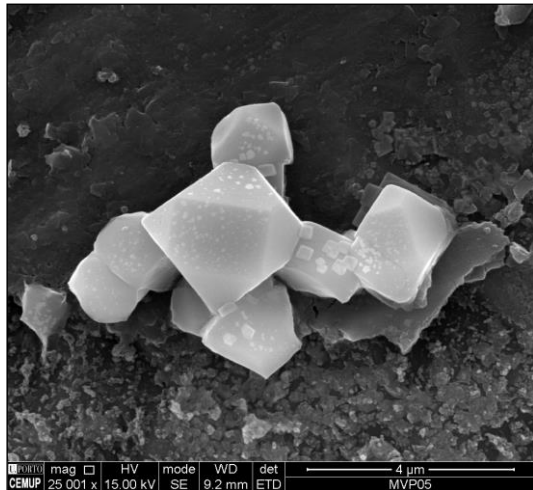
Amostra	Localização	Minerais de sais solúveis
MVP 05	Interior – Fachada Sul – Piso 2	Halite + rara brushite + raro gesso

As Figuras 4.18 e 4.19 apresentam imagens e espectro da halite. Este mineral de sal solúvel aparece sob a forma de:

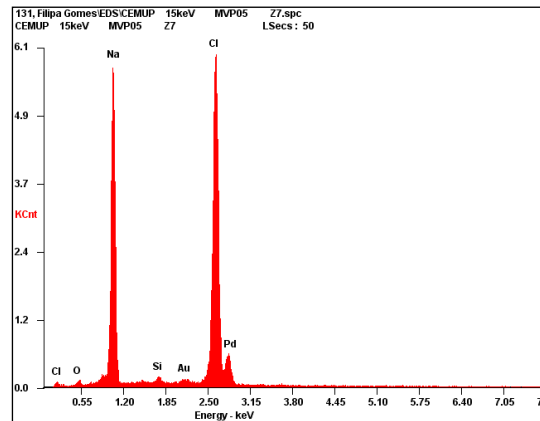
- cristais idiomórficos isométricos com as formas simples cubo + octaedro: Figuras 4.18a, 4.18c e 4.18d;
- cristais hipidiomórficos isométricos com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução: Figuras 4.18d, 4.19c e 4.19d;
- cristais hipidiomórficos prismáticos com as formas simples cubo + octaedro e com figuras de dissolução: Figuras 4.18e, 4.18f, 4.19a, 4.19b e 4.19e;
- cristais hipidiomórficos prismáticos com figuras de dissolução: Figura 4.19b;
- cristais hipidiomórficos com a forma de pêlo e com figuras de dissolução: Figura 4.19f;
- cristais xenomórficos com figuras de dissolução: Figura 4.19b.

A brushite é rara e identificaram-se somente três cristais hipidiomórficos de hábito prismático (Figura 4.20a).

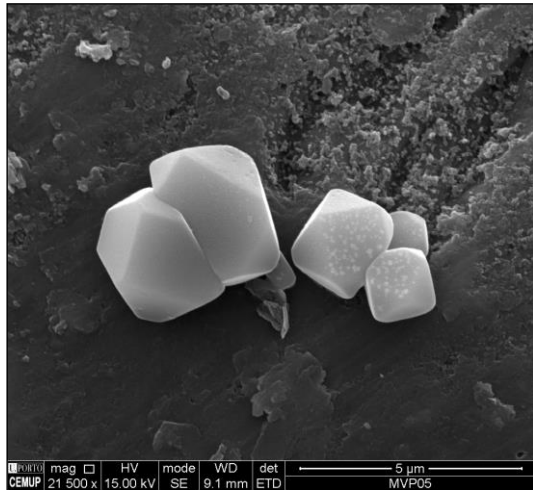
Observou-se apenas um cristal xenomórfico de gesso presente na Figura 4.20c.



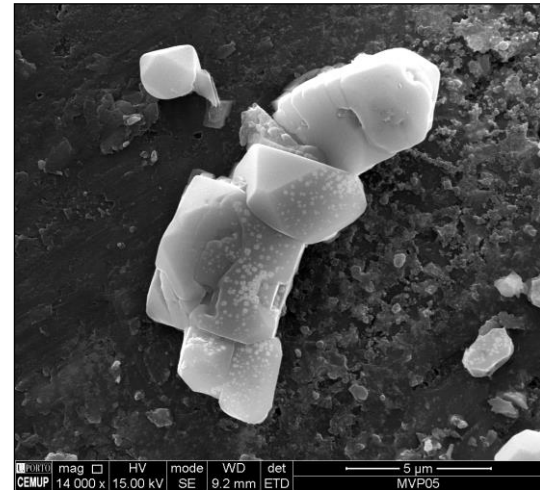
a) MVP 05 – Halite – Cristais idiomórficos isométricos com as formas simples cubo + octaedro sobre quartzo



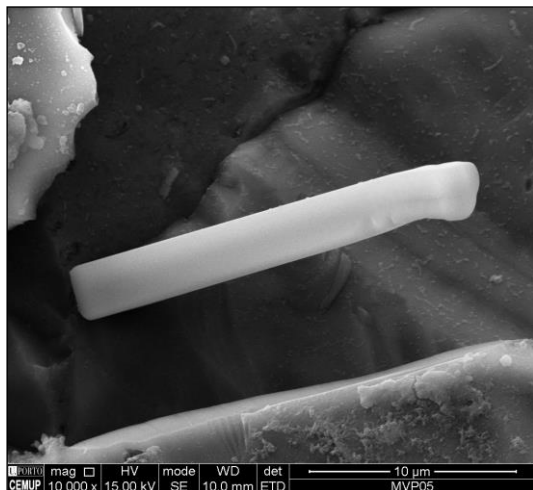
b) MVP 05 – Halite – Espectro



c) MVP 05 – Halite – Cristais idiomórficos isométricos com as formas simples cubo + octaedro sobre quartzo



d) MVP 05 – Halite – Cristais idiomórficos isométricos com as formas simples cubo + octaedro e hipidiomórficos com figuras de dissolução sobre quartzo

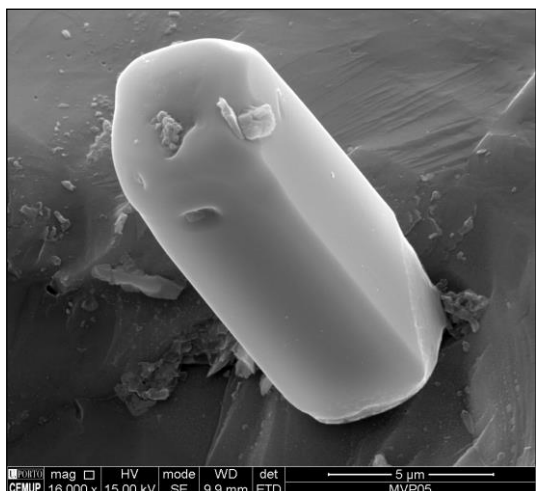


e) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico prismático com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução

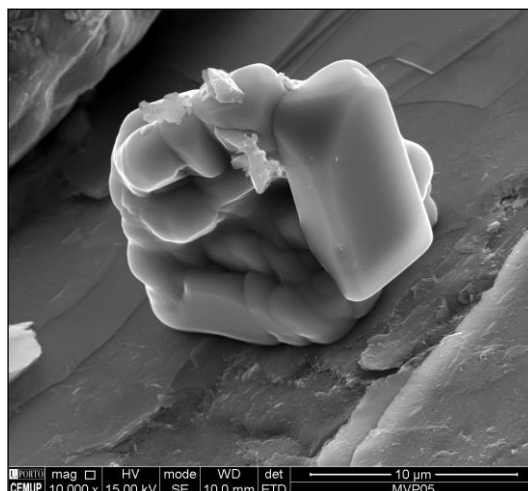


f) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico prismático com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução sobre quartzo

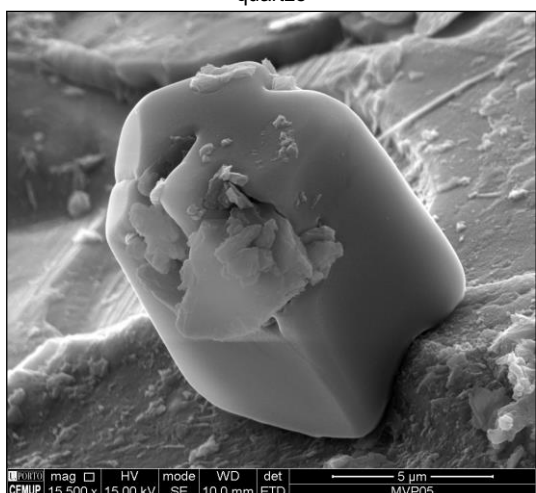
Figura 4.18: Plaqueta afetada por desagregação granular – Halite – Cristais com as formas simples cubo + octaedro e cristais prismáticos com figuras de dissolução – Imagens e espectro obtidos por MEV



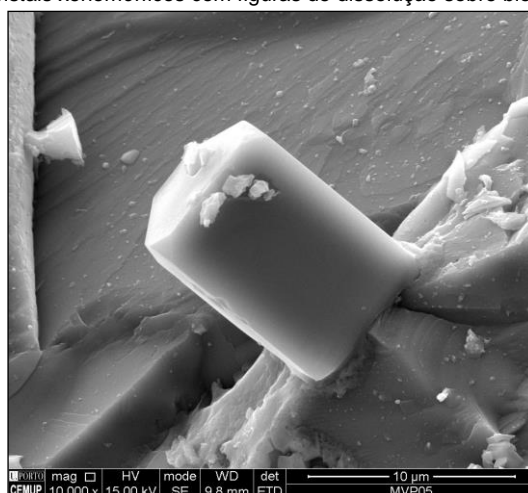
a) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico prismático com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução sobre quartzo



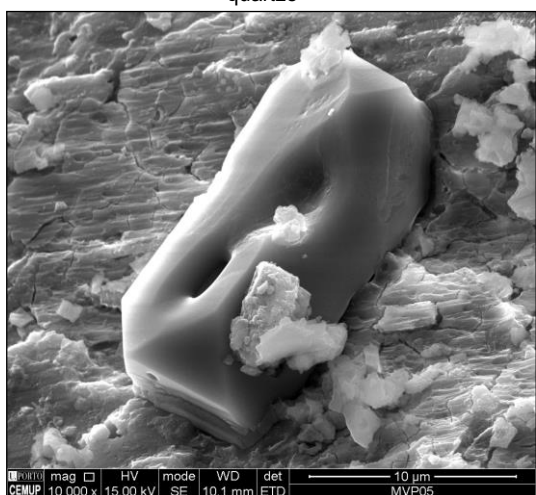
b) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico prismático com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução e cristais xenomórficos com figuras de dissolução sobre biotite



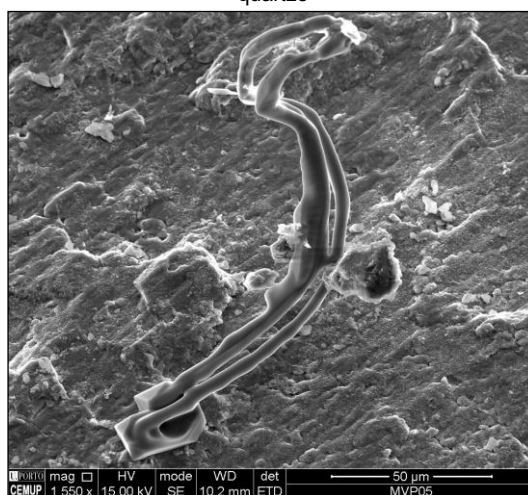
c) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico isométrico com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução sobre quartzo



d) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico isométrico com as formas simples cubo + octaedro e formas de dissolução sobre quartzo

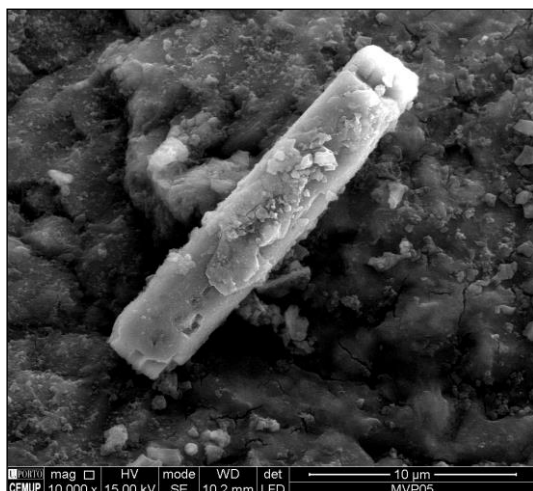


e) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico prismático com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução

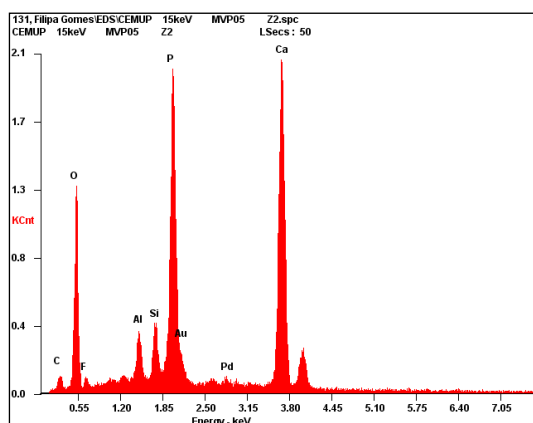


f) MVP 05 – Halite – Cristal hipidiomórfico com a forma de pêlos com figuras de dissolução sobre quartzo

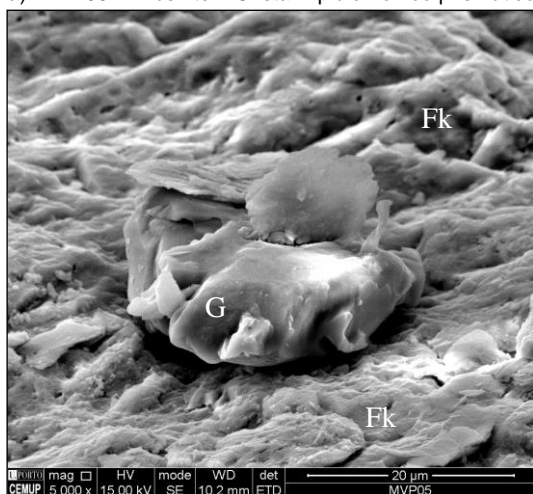
Figura 4.19: Plaqueta afetada por desagregação granular – Halite – Cristais prismáticos com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução e pêlos com figuras de dissolução – Imagens obtidas por MEV



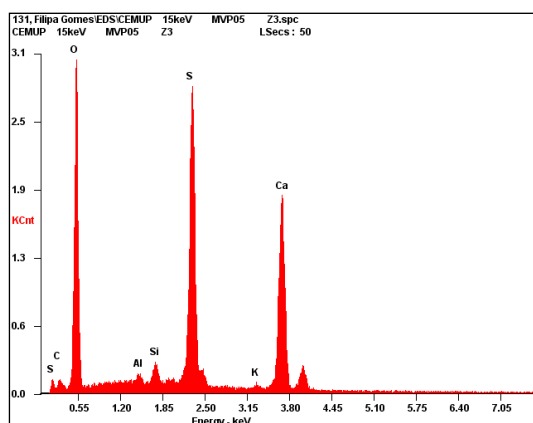
a) MVP 05 – Brushite – Cristal hipidiomórfico prismático



b) MVP 05 – Brushite – Espectro



c) MVP 05 – Gesso (G) – Cristal xenomórfico sobre feldspato potássico (Fk)



d) MVP 05 – Gesso – Espectro

Figura 4.20: Plaqueta afetada por desagregação granular – Brushite e gesso – Imagens e espectros obtidos por MEV

4.4. EFLORESCÊNCIAS *FLUFFY*

As amostras de eflorescências *fluffy* MVP 04 (recolhida no piso 2) e MVP 11 (recolhida no piso -2) foram estudadas por MEV. As amostras foram extraídas no interior do edifício sobre argamassas de cimento que revestem o granito na fachada Sul.

Na eflorescência MVP 11, apenas se identificaram a mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), sob a forma de pêlos ou de cristais alongados que exibiam figuras de dissolução, e a thenardite (Na_2SO_4), sob a forma de cristais de menores dimensões que os de mirabilite e com a morfologia e figuras de dissolução típicas deste mineral de sal solúvel anidro.

A eflorescência MVP 04 é basicamente constituída por mirabilite e, em menor quantidade, por thenardite com aspetos idênticos aos observados em MVP 11. Identificou-se ainda a aptitalite ($\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$) sobre um pequeno fragmento de argamassa de cimento.

A Tabela 4.3 apresenta os minerais de sais solúveis identificados nas duas eflorescências *fluffy*.

Tabela 4.3: Eflorescência fluffly – Minerais de sais solúveis identificados por MEV

Amostra	Localização	Minerais de sais solúveis
MVP 04	Interior – Fachada Sul – Piso 2	Mirabilite + thenardite + rara aptitalite
MVP 11	Interior – Fachada Sul – Piso -2	Mirabilite + thenardite

In situ, as duas eflorescências *fluffy* de cor branca e de aspeto cristalino são constituídas por cristais em forma de pêlos com comprimento até 15 mm, ou seja, com uma morfologia típica associada à cristalização da mirabilite. A observação por MEV permitiu verificar a presença de quantidade significativa de thenardite que se terá formado a partir da mirabilite por perda das dez moléculas de água devido às condições de humidade relativa consideravelmente menores a que estiveram sujeitas as duas amostras recolhidas antes de terem sido observadas por MEV.

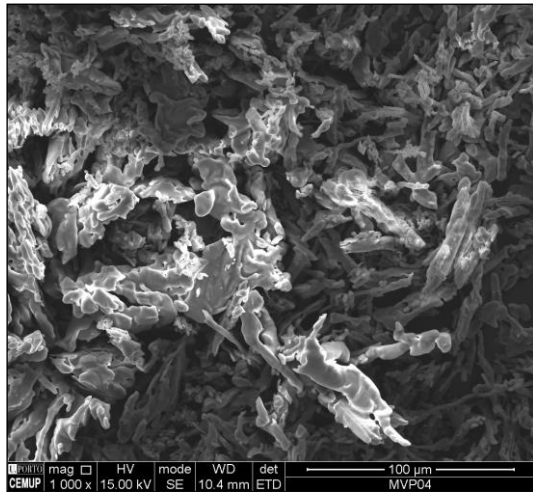
Das Figura 4.21 à Figura 4.23 exibem-se imagens e espectros da mirabilite, thenardite e aptitalite.

A mirabilite está presente nas duas amostras e apresenta-se como:

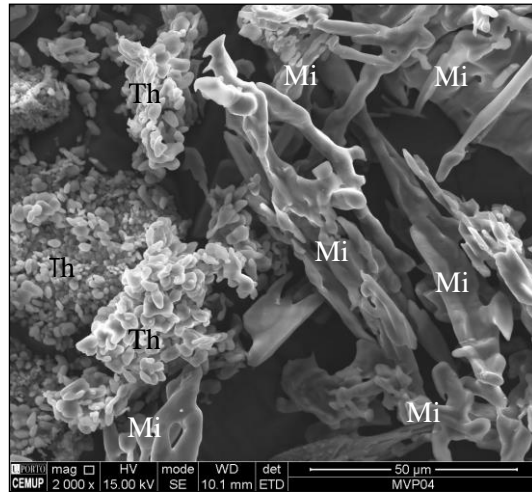
- cristais xenomórficos em forma de pêlo com figuras de dissolução: Figuras 4.21a, 4.21b, 4.22a, 4.22b, 4.22c, 4.22d e 4.22e;
- cristais xenomórficos aciculares com figuras de dissolução: Figuras 4.21a, 4.21b e 4.22a;
- cristais hipidiomórficos com figuras de dissolução: Figuras 4.21c e 4.21d.

A thenardite também está presente nas duas amostras, formando cristais xenomórficos inteiramente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.21b, 4.21c, 4.21d, 4.22e e 4.22f).

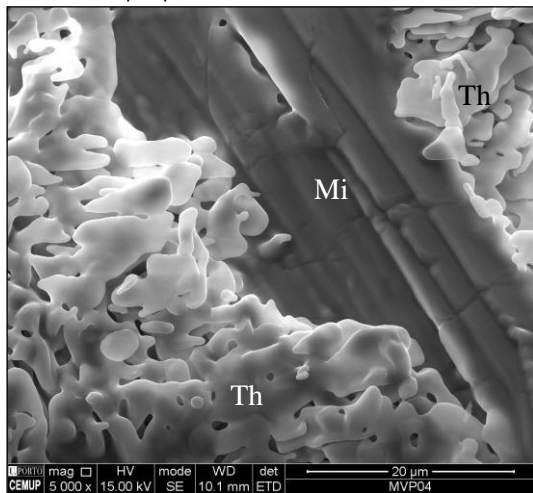
A aptitalite, presente na amostra MVP 04, exhibe cristais xenomórficos totalmente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.23a, 4.23c e 4.23d).



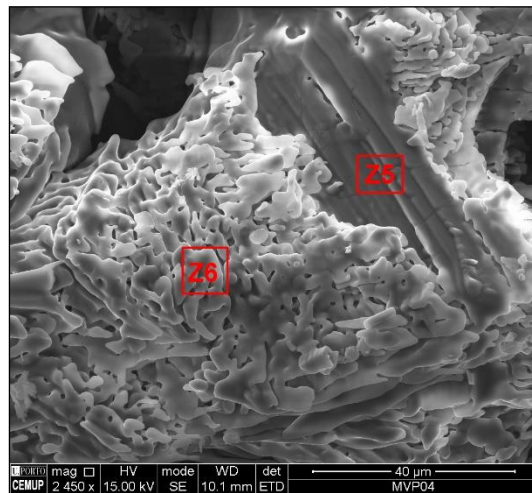
a) MVP 04 – Aspetto geral – Eflorescência basicamente costituita por pêlos e cristais aciculares de mirabilite



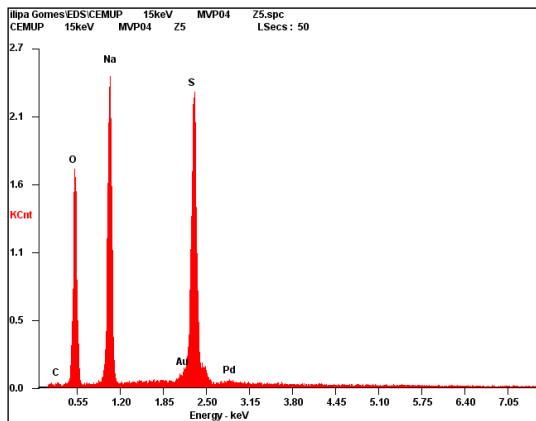
b) MVP 04 – Aspetto geral – Mirabilite (Mi) e thenardite (Th)



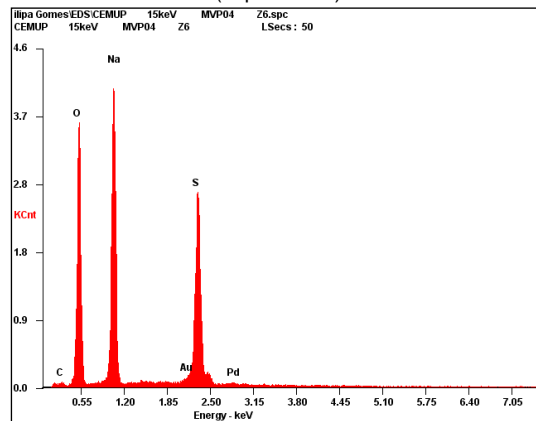
c) MVP 04 – Mirabilite (Mi) e thenardite (Th)



d) MVP 04 – Mirabilite (espectro Z5) e thenardite (espectro Z6)



e) MVP 04 – Mirabilite – Espectro Z5



f) MVP 04 – Thenardite – Espectro Z6

Figura 4.21: Eflorescências *fluffy* – Mirabilite e thenardite – Imagens e espectros obtidos por MEV

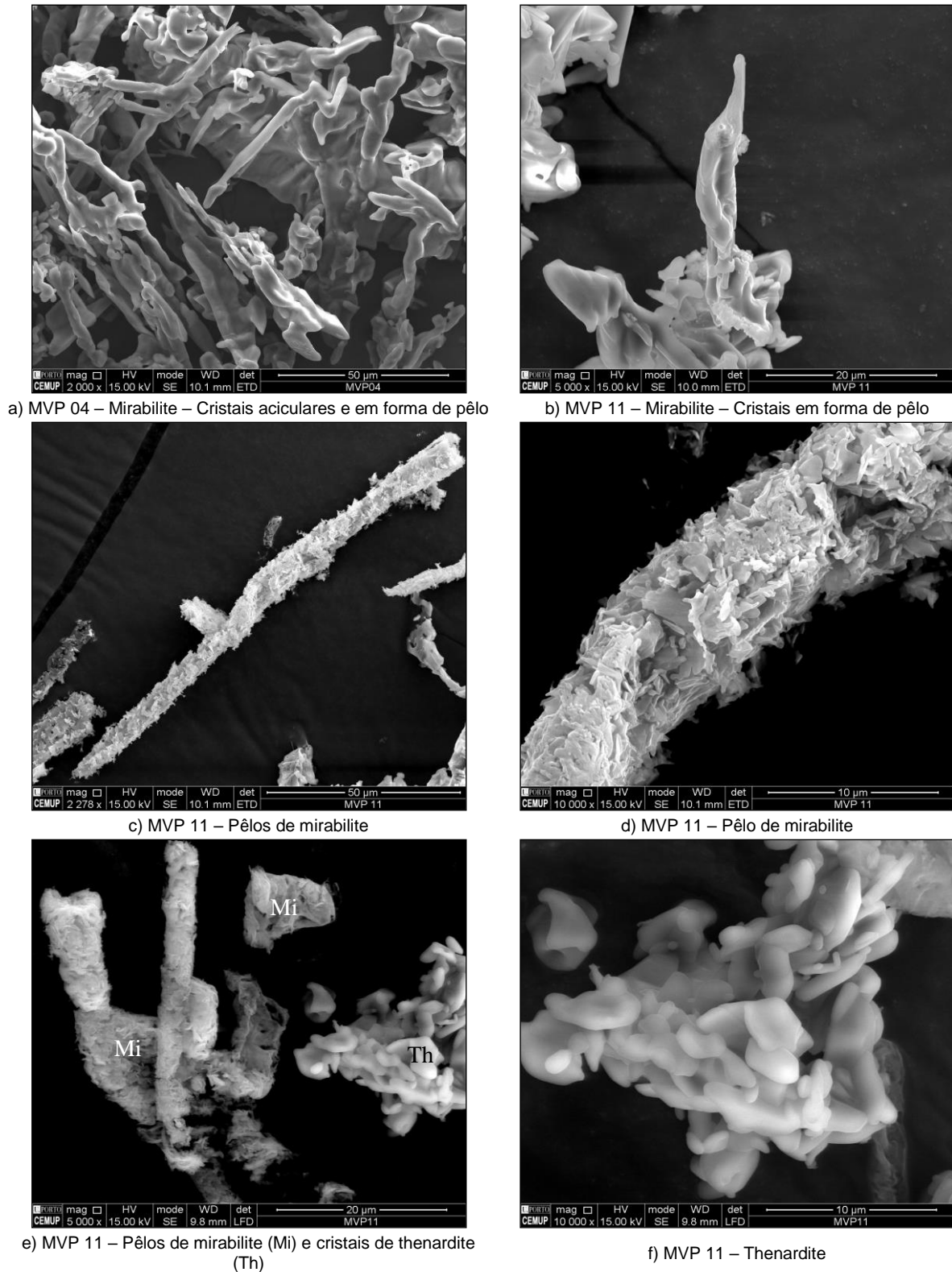
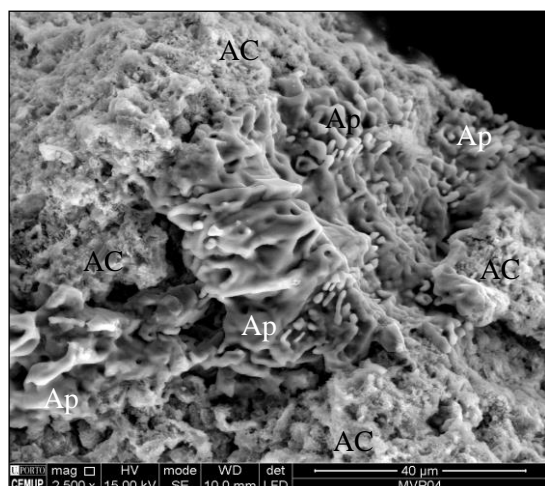
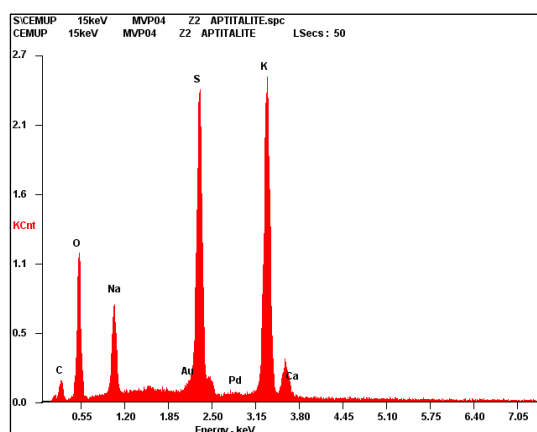


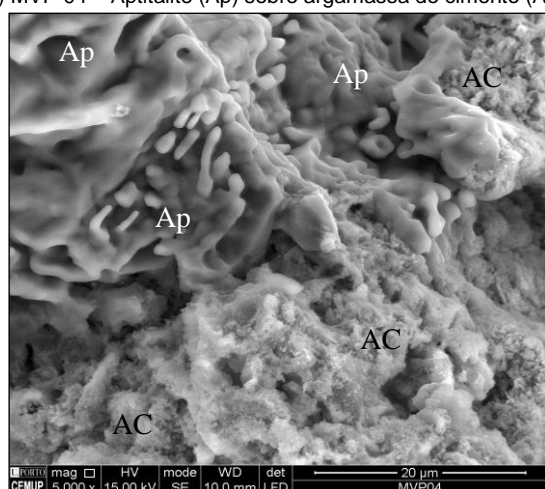
Figura 4.22: Eflorescências *fluffy* – Mirabilite e thenardite – Imagens obtidas por MEV



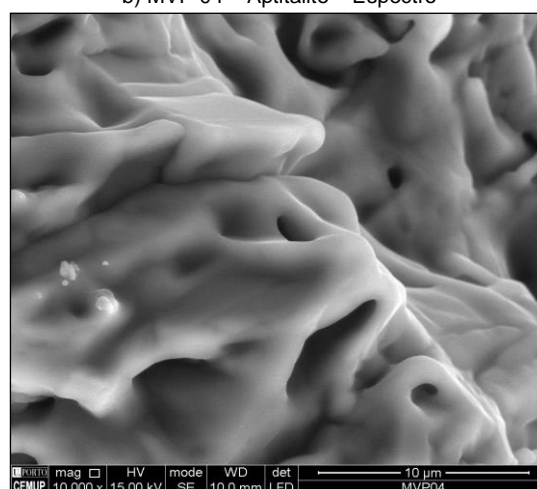
a) MVP 04 – Aptitalite (Ap) sobre argamassa de cimento (AC)



b) MVP 04 – Aptitalite – Espectro



c) MVP 04 – Aptitalite (Ap) sobre argamassa de cimento (AC)



d) MVP 04 – Aptitalite

Figura 4.23: Eflorescência fluffy MVP 04 – Aptitalite – Imagens e espectro obtidos por MEV

4.5. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS

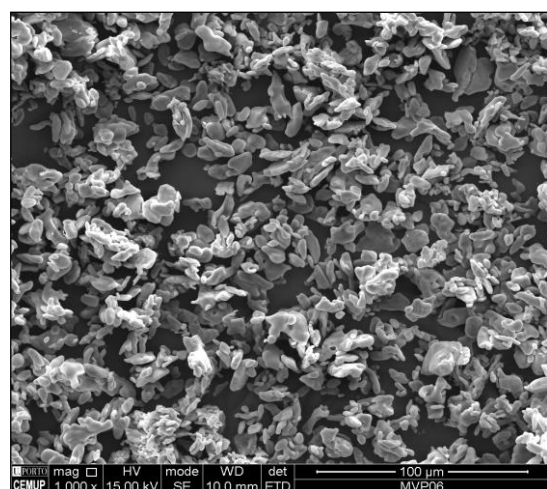
As amostras de eflorescências pulverulentas MVP 06 e MVP 07 (ambas recolhidas no piso -2) foram observadas e estudadas por MEV. As amostras foram recolhidas no interior do edifício, na fachada Sul, sobre argamassas de cimento que revestem o granito.

Nas duas amostras de eflorescências, apenas se identificou a thenardite, como mostrado na Tabela 4.4.

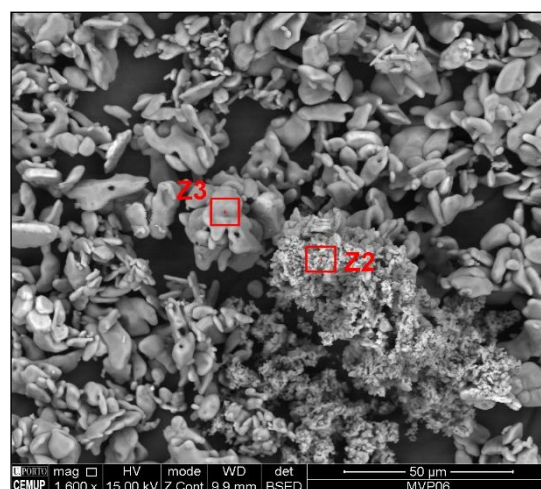
Tabela 4.4: Eflorescências pulverulentas – Minerais de sais solúveis identificados por MEV

Amostra	Localização	Minerais de sais solúveis
MVP 06	Interior – Fachada Sul – Piso -2	Thenardite
MVP 07	Interior – Fachada Sul – Piso -2	Thenardite

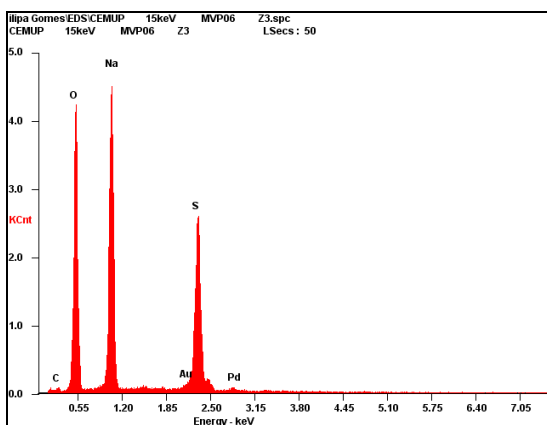
Nas Figuras 4.24 e 4.25 apresentam-se imagens e espectro da thenardite. Os cristais são xenomórficos, sendo integralmente delimitados por figuras de dissolução típicas da thenardite (Figuras 4.24 e 4.25).



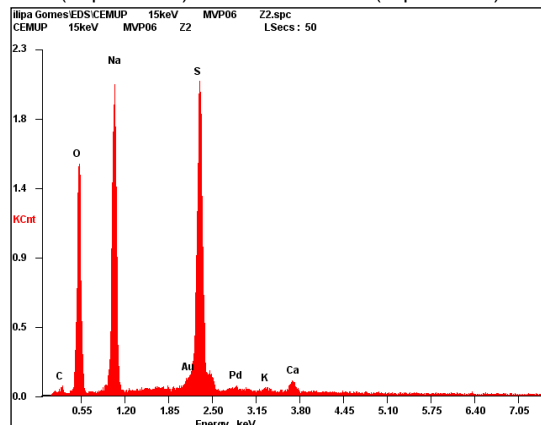
a) MVP 06 – Thenardite – Aspetto geral – Cristais maiores



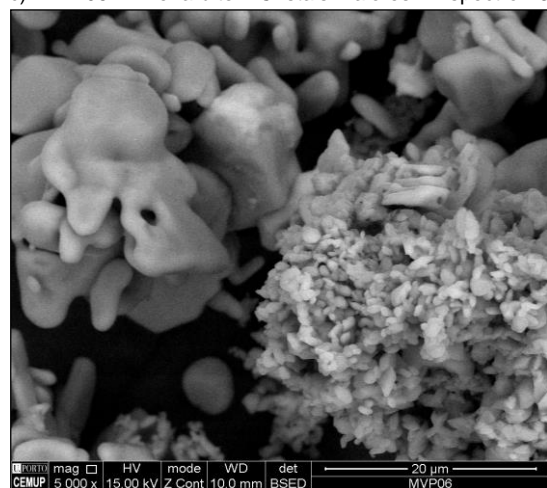
b) MVP 06 – Thenardite – Aspetto geral – Cristais maiores (Espectro Z3) e cristais menores (espectro Z2)



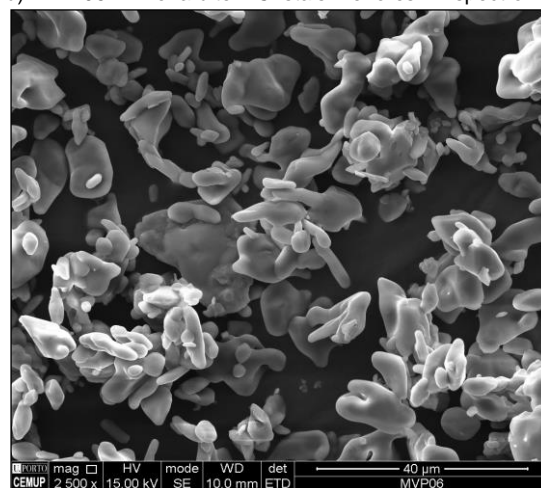
c) MVP 06 – Thenardite – Cristais maiores – Espectro Z3



d) MVP 06 – Thenardite – Cristais menores – Espectro Z2

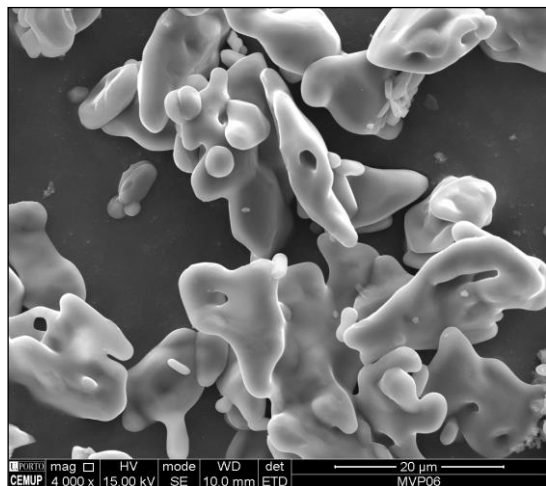


e) MVP 06 – Thenardite – Cristais maiores e cristais menores com figuras de dissolução

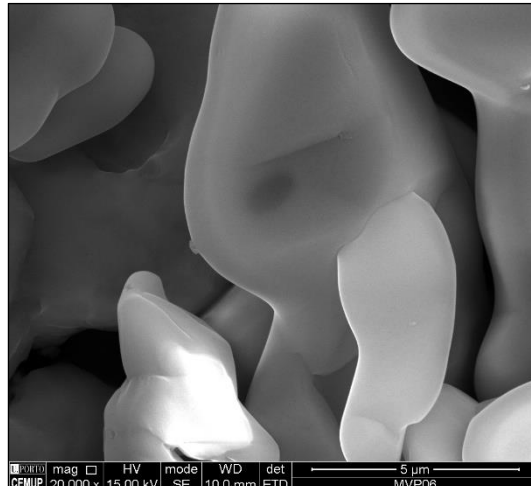


f) MVP 06 – Thenardite – Cristais maiores com figuras de dissolução

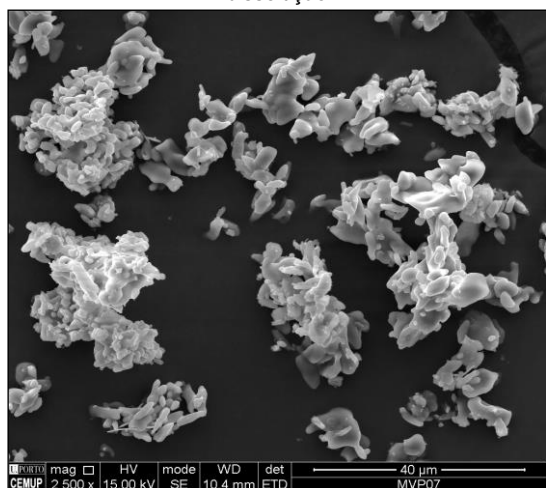
Figura 4.24: Eflorescências pulverulentas – Thenardite – Imagens e espectros obtidos por MEV



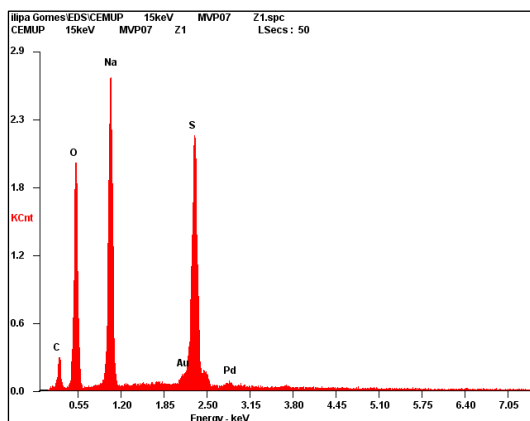
a) MVP 06 – Thenardite – Cristais maiores com figuras de dissolução



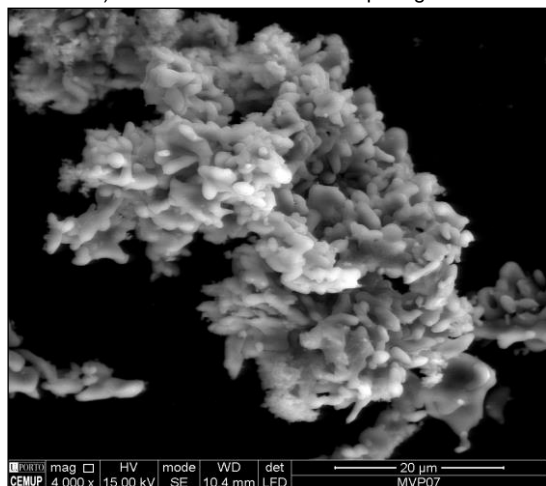
b) MVP 06 – Thenardite – Cristais maiores com figuras de dissolução



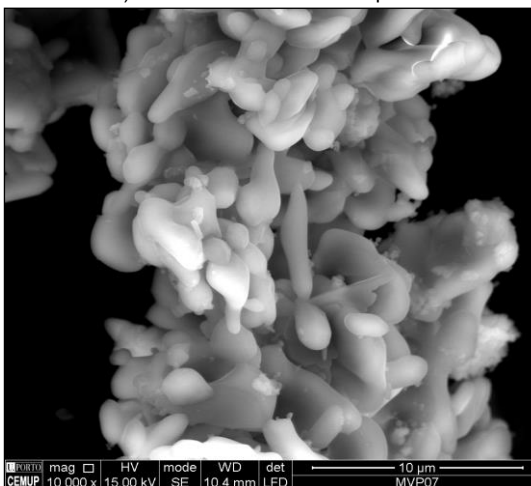
c) MVP 07 – Thenardite – Aspeto geral



d) MVP 07: Thenardite – Espectro



e) MVP 07 – Thenardite – Cristais com figuras de dissolução



f) MVP 07 – Thenardite – Cristais com figuras de dissolução

Figura 4.25: Eflorescências pulverulentas – Thenardite – Imagens obtidas por MEV

Na eflorescência MVP 06, pode-se diferenciar duas populações distintas, em termos de tamanho dos cristais:

- uma constituída por cristais maiores: Figuras 4.24a, 4.24b, 4.24e, 4.24f, 4.25a e 4.25b;
- e outra por cristais menores: Figuras 4.24b e 4.24e.

A amostra MVP 07 exhibe uma única população de cristais, sendo equivalente à população de menores dimensões observada em MVP 06 (Figuras 4.25c, 4.25e e 4.25f).

4.6. CROSTAS NEGRAS

A amostra de crosta negra MVP 16 foi observada e analisada por MEV. A amostra foi recolhida no exterior do edifício sob a varanda do piso 2, na fachada Norte.

Na amostra recolhida apenas se identificou o gesso como mineral de sal solúvel, conforme é apresentado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Crosta negra – Minerais de sais solúveis identificados por MEV

Amostra	Localização	Minerais de sais solúveis
MVP 16	Exterior – Fachada Norte – sob varanda do Piso 2	Gesso

A crosta negra MVP 16 é basicamente constituída por cristais de gesso. Aparece grande quantidade de poeiras constituídas por minerais silicatados como, feldspatos, quartzo e micas e raras cinzas volantes. Observou-se ainda o desenvolvimento de material biológico em resultado de o local onde se formou a crosta negra ser sombrio e húmido devido à conjugação dos seguintes fatores:

- Fachada orientada para Norte;
- Rua da Reboleira ser estreita e delimitada por edifícios de elevada altura, não permitindo longos períodos de exposição direta ao Sol;

Nas Figuras 4.26 e 4.27, apresentam-se imagens e espectro do gesso. Este mineral de sal solúvel cristaliza sob a forma de:

- Cristais lamelares de bordos arredondados ou de hábito pseudo-hexagonal, formando rosas do deserto: Figuras 4.26, 4.27a e 4.27e.

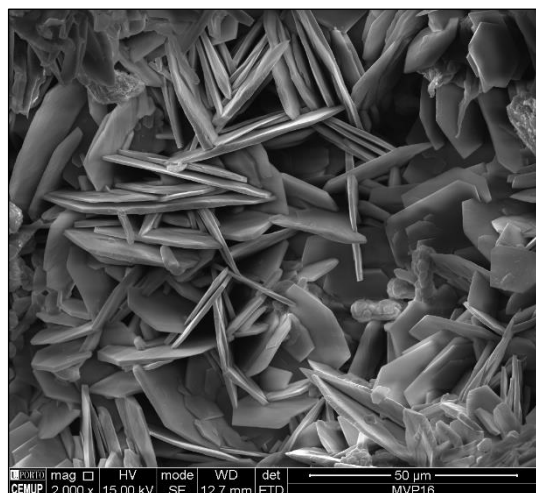
Poeiras silicatadas podem ser observadas nas Figuras 4.26e, 4.27b e 4.27e.

A colonização fúngica é intensa nalguns pontos, conforme se pode constatar nas Figuras 4.27a, 4.27b, 4.27c e 4.27d.

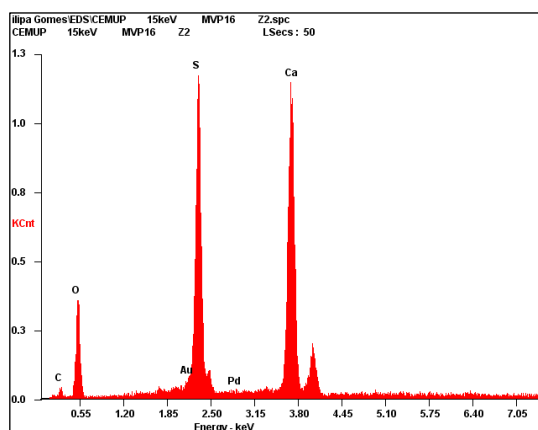
Observaram-se igualmente duas algas (Figuras 4.27e e 4.27f).

As cinzas volantes são raras. Observaram-se apenas duas cinzas volantes de superfície lisa, ricas em silício e alumínio (Figura 4.28a) e uma cinza volante de superfície mais ou menos lisa rica em óxido de titânio (Figura 4.28c).

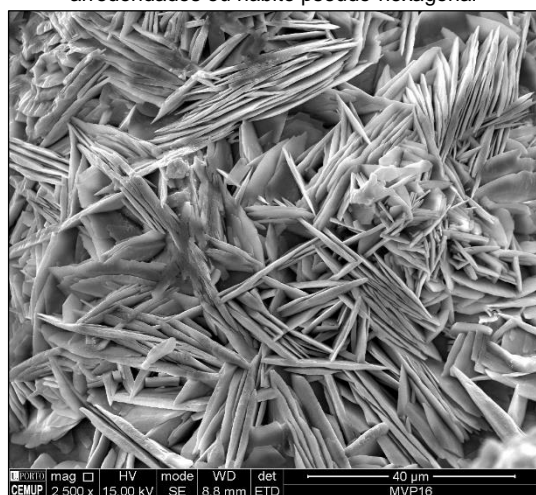
As cinzas volantes porosas de natureza carbonosa costumam ser muito abundantes nas crostas negras, mas, contrariamente ao que seria de esperar, não se observou qualquer uma deste tipo na amostra MVP 16.



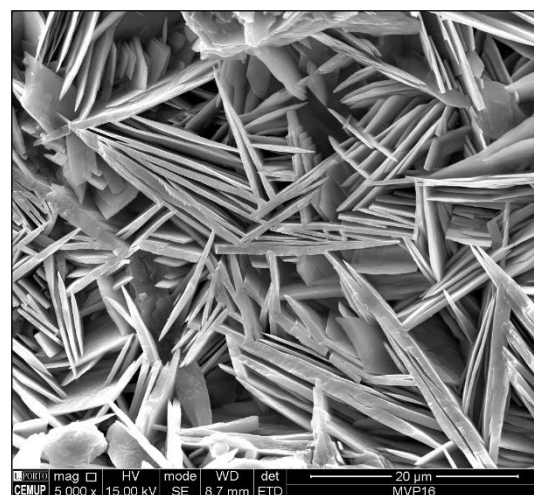
a) MVP 16 – Gesso – Cristais lamelares de bordos arredondados ou hábito pseudo-hexagonal



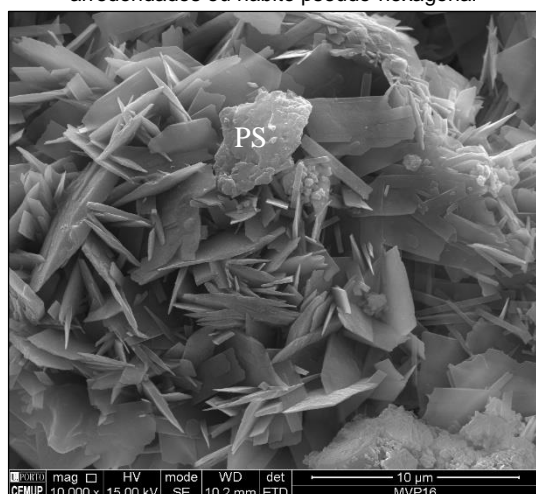
b) MVP 16 – Gesso – Espectro



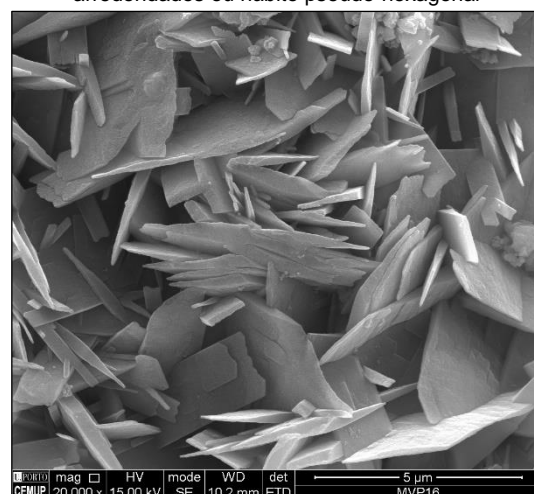
c) MVP 16 – Gesso – Cristais lamelares de bordos arredondados ou hábito pseudo-hexagonal



d) MVP16 – Gesso – Cristais lamelares de bordos arredondados ou hábito pseudo-hexagonal



e) MVP 16 – Gesso – Cristais lamelares de hábito pseudo-hexagonal ou de bordos arredondados e poeiras silicatadas (PS)



f) MVP 16 – Gesso – Cristais lamelares de hábito pseudo-hexagonal ou de bordos arredondados

Figura 4.26: Crostas negras – Gesso – Cristais formando rosas do deserto – Imagens e espectro obtidos por MEV

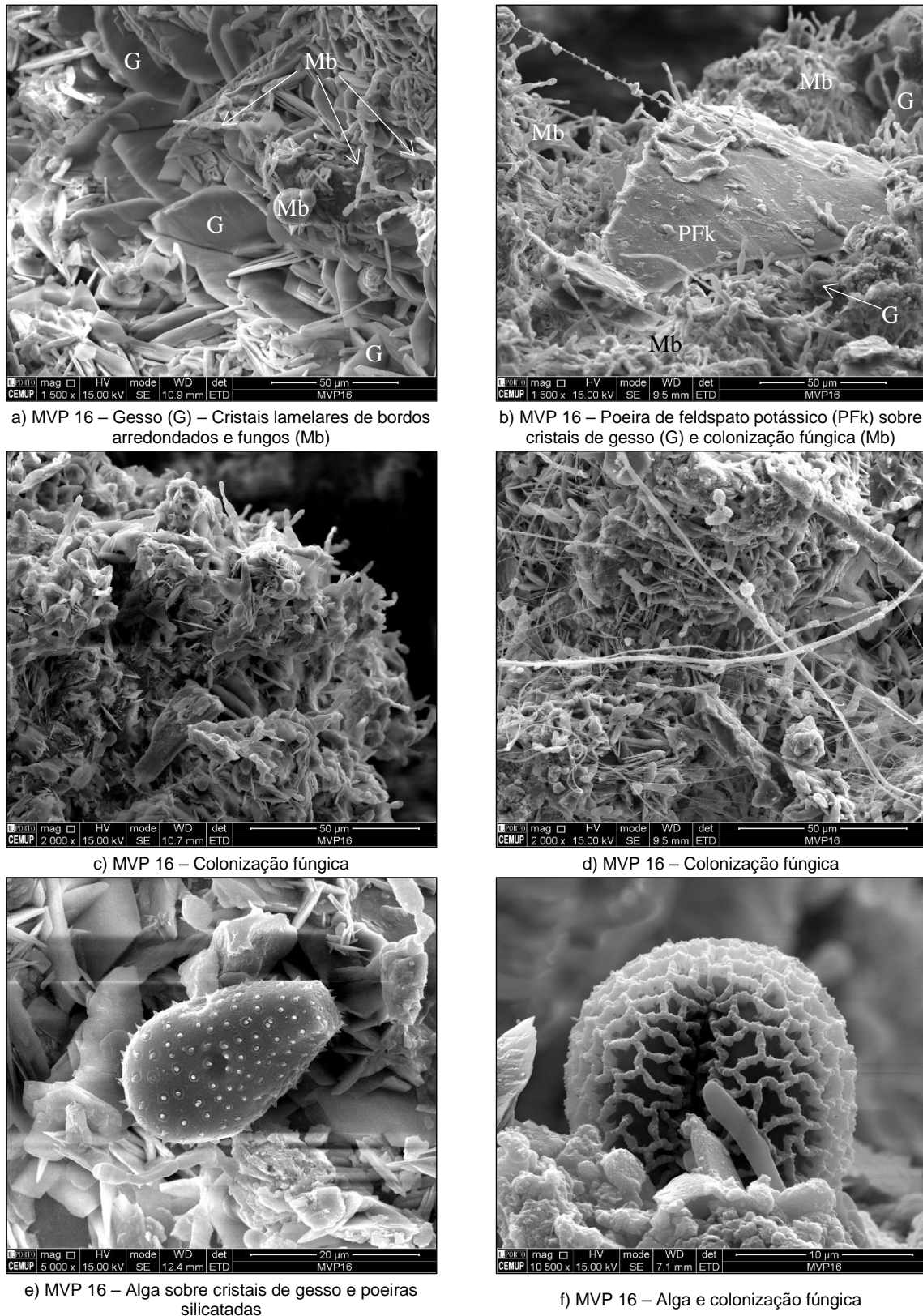
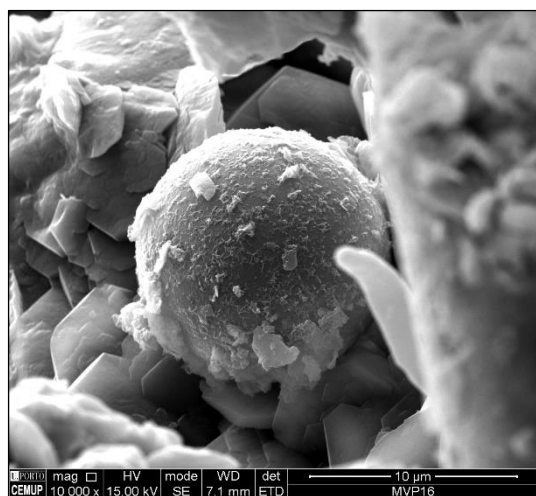
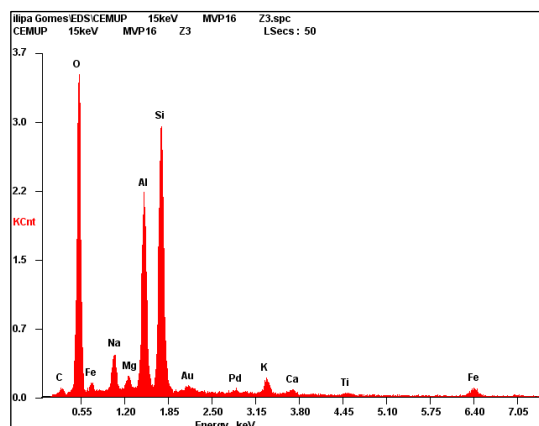


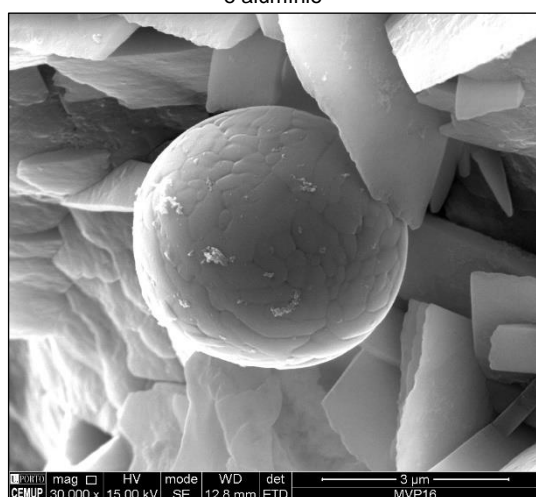
Figura 4.27: Crosta negra – Gesso, poeiras silicatadas e colonização biológica – Imagens obtidas por MEV



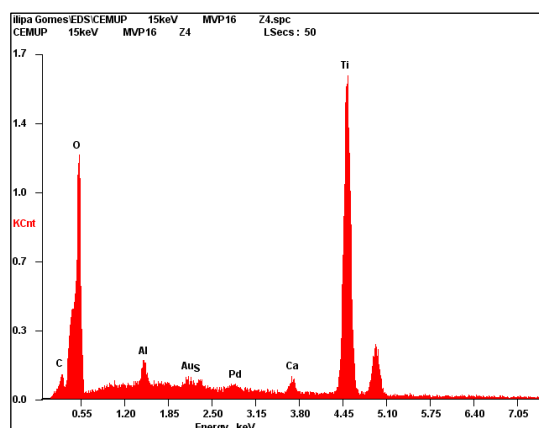
a) MVP 16 – Cinza volante de superfície lisa, rica em silício e alumínio



b) MVP 16 – Cinza volante de superfície lisa, rica em silício e alumínio – Espectro



c) MVP 16 – Cinza volante de superfície mais ou menos lisa, de óxido de titânio



d) MVP 16 – Cinza volante de superfície mais ou menos lisa, de óxido de titânio – Espectro

Figura 4.28: Crosta negra – Cinzas volantes – Imagens e espectros obtidos por MEV

4.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A halite é o mineral de sal solúvel responsável pela desagregação granular e formação de plaquetas, constituindo a principal causa de deterioração do granito no Museu do Vinho do Porto. É um sal muito solúvel, higroscópico e o que desenvolve maiores forças de cristalização, sendo, consequentemente, o mineral de sal solúvel potencialmente com maior poder de desagregação da pedra.

Com efeito, devido à sua elevada solubilidade, cristaliza a partir de soluções salinas muito concentradas, preferencialmente nas fissuras mais estreitas e nos estrangulamentos da rede porosa do granito do Porto onde desenvolve elevadas forças de cristalização (tração).

Além disso, o aparecimento de água líquida proveniente da chuva e/ou ascensão por capilaridade e posterior evaporação da mesma conduz a ciclos rápidos de cristalização/dissolução.

Ciclos de cristalização/deliquesência podem ocorrer várias vezes por dia sob pequenas variações de temperatura e/ou humidade relativa do ar. Assim, por exemplo, a uma temperatura de 20 °C, a halite cristaliza ou deliquesce desde que a humidade relativa do ar suba ou desça dos 75 %, respetivamente.

A origem principal da halite no interior do edifício do Museu do Vinho do Porto está associada à utilização do mesmo como armazém de bacalhau, tendo penetrado na rede porosa do granito sobretudo nos pisos onde havia descarga, armazenamento e transporte de bacalhau.

No exterior, a origem da halite também está associada à composição da água da chuva, rica nos iões Na^+ e Cl^- , devido à proximidade do oceano Atlântico e dos nevoeiros salinos frequentes no rio Douro, conforme mostraram Begonha *et al.* (1995, 1996) e Begonha (1997, 2001).

A nitratite é o mineral de sal solúvel dominante na amostra MVP 15. Pode estar relacionada com a cura do bacalhau, dado ser um produto de conservação e fixação de cor em alimentos curados, estando atualmente listada sob a designação de E251.

O gesso aparece normalmente em quantidade reduzida nas amostras de desagregação granular e de plaquetas, tanto em amostras do interior como do exterior do museu. No entanto, a ação direta dos agentes atmosféricos do exterior para o interior pode explicar o quantitativo maior de gesso observado no estudo por MEV na amostra do exterior MVP 18 relativamente às amostras do interior da mesma fachada Sul (MVP 13 e MVP 15).

O gesso é o principal constituinte das crostas negras existentes sob as varandas da fachada da Rua da Reboleira.

A sua origem principal está ligada à composição da água da chuva, rica nos iões Ca^{2+} e SO_4^{2-} , devido aos elevados índices de poluição do ar existentes no centro da cidade do Porto, conforme referiram Begonha *et al.* (1995, 1996) e Begonha (1997, 2001).

A brushite é rara em três amostras de desagregação granular e plaquetas, quer do exterior quer do interior do edifício. Está normalmente associada aos dejetos de aves, nomeadamente pombos e gaivotas.

Os sulfatos de sódio thenardite e mirabilite, assim como o raro sulfato de sódio e potássio aptitalite, aparecem exclusivamente sobre argamassas de cimento que foram aplicadas no interior da fachada Sul do museu. Resultam da mobilização dos iões Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} , existentes no cimento das argamassas, para a superfície das mesmas, constituindo eflorescências *fluffy* e pulverulentas.

As cinzas volantes de superfície lisa constituídas essencialmente por silício e alumínio, presentes nas crostas negras, têm origem nos elevados índices de poluição do ar e resultam da queima incompleta dos combustíveis fósseis carvão, petróleo e seus derivados. As cinzas volantes de superfície mais ou menos lisa, constituídas por óxido de titânio, podem estar associadas à pintura branca dos automóveis e sucata que são usados na produção de aço na Siderurgia Nacional, na Maia.

5

ESTUDO PETROFÍSICO DO GRANITO DO PORTO

5.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados dos ensaios realizados, nomeadamente, porosidade livre às 48 horas, densidade aparente, porometria com o porosímetro de mercúrio, absorção de água por capilaridade, evaporação, velocidade de propagação dos ultrassons, resistência à compressão uniaxial e determinação da resistência superficial através do esclerómetro de Schmidt.

Analisa-se a variação dos vários parâmetros em profundidade, por tarolo e por ensaio.

Seguidamente, comparam-se os valores dos diversos parâmetros obtidos nos provetes do Museu do Vinho do Porto com os dos granitos de vários monumentos e edifícios de Portugal recorrendo a dados publicados para o granito de duas micas meteorizado do Convento de São Gonçalo de Amarante (Castro *et al.*, 1991a, Begonha, 2004, Malheiro *et al.*, 2004), o granito de grão grosseiro da Anta Grande do Zambujeiro (Ferreira Pinto, 1993), o granito do Porto obtido em perfis de meteorização (Begonha, 1997, 2001), o granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado do Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001), o granito de Braga não, pouco e muito meteorizado (Alves, 1997), o granito de Gondizalves pouco, mediana a muito meteorizado (Alves, 1997), o granito de grão médio a grosseiro, de tendência porfiroide, meteorizado, do Mosteiro de São Miguel de Refojos (Begonha, 2000), o granito de Vila Chã muito meteorizado da Igreja de São João de Tarouca (Begonha, 2002), o granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos da Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho (Begonha, 2003a), os granitos de grão fino a médio e médio a grosseiro, meteorizados, da Igreja de São Pedro de Rates (Begonha, 2003b), o granito de grão fino afetado por desagregação granular muito intensa da Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde (Begonha, 2003c), o granito de grão fino a médio afetado por desagregação granular de intensidade fraca do Chafariz de Caminha (Begonha, 2003d), o granito de grão médio afetado por desagregação granular da Antiga Alfândega de Vila do Conde (Ferreira, 2004), o granito do Porto meteorizado da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio (Moutinho, 2005), o granito do Porto meteorizado ou meteorizado e afetado por desagregação granular da Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto (Begonha, 2005), o granito de grão médio e o microgranito meteorizados da Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha (Fojo, 2006), o granito de duas micas meteorizado, afetado por desagregação granular da Sé Catedral de Évora (Costa, 2007), o granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência porfiroide e o aplito moscovítico meteorizados da Igreja de Santa Clara (Costa Leite, 2008), o aplito com turmalina meteorizado, afetado por desagregação granular ou placas do Mosteiro de Paço de Sousa (Cardoso, 2008), o granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado (Granito de Lavadores) da Capela do Senhor da Pedra (Bré, 2008), o granito do Porto

meteorizado não deteriorado ou meteorizado e afetado por desagregação granular ou placas do Mosteiro da Serra do Pilar (Madureira, 2008), o granito do Porto meteorizado de uma casa na Rua de Santa Catarina (Resende, 2010), o granito de grão fino e o granito de grão grosso ambos afetados por desagregação granular ou placas do Mosteiro de Travanca (Begonha e Novais, 2011) e o granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular ou placas do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo (Silva, 2012).

Por fim, correlacionaram-se os diversos parâmetros determinados neste trabalho e com os de outros trabalhos realizados em amostras de granito do Porto levados a efeito por Begonha (1997, 2001), Moutinho (2005) e Resende (2010).

Os diversos parâmetros foram sobretudo relacionados com a porosidade livre às 48 horas, uma vez que Begonha (1997, 2001) mostrou ser este o parâmetro que melhor se correlacionava com os restantes.

5.2. POROSIDADE LIVRE ÀS 48 HORAS

Os valores da porosidade livre às 48 horas dos provetes ensaiados indicam-se na Tabela 5.1.

Pela comparação dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o tarolo MVP C3 revela uma porosidade livre compreendida entre 2,22 % e 2,30 %. Seguem-se os tarolos MVP C4, MVP C7, MVP C1, MVP C5, MVP C2 ($2,39 \% \leq N_{48} \leq 4,04 \%$) e, por último, com uma significativa diferença, o tarolo MVP C6, com valores de N_{48} compreendidos entre 6,34 % e 7,03 %.

Em termos de variação da porosidade ao longo do comprimento dos tarolos, verifica-se que nos tarolos removidos em pedras com apenas uma face exposta (MVP C1, MVP C2, MVP C4, MVP C6 e MVP C7), a porosidade livre às 48 horas aumenta em profundidade, exceto nos tarolos MVP C1 e MVP C2. No caso do tarolo MVP C1, os valores superiores de N_{48} encontram-se no provete mais à superfície (MVP C1.1 com N_{48} de 3,05 %) e no provete mais profundo (MVP C1.5 com N_{48} de 3,11 %). No caso do tarolo MVP C2, o valor superior de N_{48} encontra-se no provete MVP C2.1, que corresponde ao provete à superfície da pedra ($N_{48} = 4,04 \%$).

Nos tarolos que cortaram toda a ombreira (MVP C3 e MVP C5), ou seja, com as duas faces livres, verificaram-se comportamentos diferentes. No tarolo MVP C3, os valores de N_{48} vão baixando ligeiramente de uma extremidade para a outra (de 2,30 % a 2,22 %). No tarolo MVP C5, o valor de N_{48} é superior no provete central (4,02 %).

A Tabela 5.2 indica os valores limite da porosidade livre às 48 horas em perfis de meteorização de granitos e pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal.

A porosidade livre obtida nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma grande gama de valores compreendidos entre 2,22 % e 7,03 %, o que mostra distintos graus de meteorização/deterioração. Estes valores comprovam que as pedras utilizadas neste edifício apresentam diferentes graus de meteorização herdados da pedreira, uma vez que são valores muito superiores aos valores do granito do Porto não meteorizado ($0,52 \% \leq N_{48} \leq 1,00 \%$).

Comparando os valores de N_{48} de pedras afetadas por desagregação granular de granito do Porto meteorizado do Museu do Vinho do Porto, ($2,22 \% \leq N_{48} \leq 7,03 \%$) com os de pedras de granito do Porto de perfis de meteorização ou empregues noutros edifícios e monumentos, verifica-se que estes se enquadram nos apresentados na Tabela 5.2 e Figura 5.1, compreendidos entre 1,53 % e 10,77 %.

Tabela 5.1: Resultados do ensaio de determinação da porosidade livre às 48 horas (N_{48})

Tarolo	Provete	N_{48} (%)
MVP C1	MVP C1.1	3,05
	MVP C1.2	2,84
	MVP C1.3	2,59
	MVP C1.4	2,61
	MVP C1.5	3,11
MVP C2	MVP C2.1	4,04
	MVP C2.2	3,85
	MVP C2.3	3,71
MVP C3	MVP C3.1	2,30
	MVP C3.2	2,28
	MVP C3.3	2,22
MVP C4	MVP C4.1	2,39
	MVP C4.2	2,55
	MVP C4.3	2,59
MVP C5	MVP C5.1	3,96
	MVP C5.2	4,02
	MVP C5.3	3,89
MVP C6	MVP C6.1	6,34
	MVP C6.2	6,82
	MVP C6.3	7,03
MVP C7	MVP C7.1	2,58
	MVP C7.2	2,93

Os valores de N_{48} obtidos neste trabalho enquadram-se igualmente nos referidos na Tabela 5.2, no que respeita a pedras meteorizadas/deterioradas empregues com outros tipos de granito, os quais variam de 1,08 % a 10,30 %.

Tabela 5.2: Valores limites de N₄₈ em perfis de meteorização de granitos e pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	N ₄₈ (%)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	2,22 – 7,03
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (Castro <i>et al.</i> , 1991a)	5,13 – 9,63
Anta Grande do Zambujeiro – Granito de grão grosseiro (Ferreira Pinto, 1993)	2,90
Granito de Braga não meteorizado (Alves, 1997)	0,64 – 0,67
Granito de Braga pouco meteorizado (Alves, 1997)	1,08 – 3,18
Granito de Braga muito meteorizado (Alves, 1997)	5,63 – 7,19
Granito de Gondizalves pouco meteorizado (Alves, 1997)	2,32 – 2,60
Granito de Gondizalves mediana a muito meteorizado (Alves, 1997)	2,74 – 7,31
Granito do Porto não meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	0,52 – 1,00
Granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	2,12 – 3,96
Granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	4,04 – 6,26
Granito do Porto muito meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	7,79 – 10,77
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	1,53 – 1,78
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	2,19 – 3,10
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (Begonha, 1997, 2001)	3,38 – 4,48
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (Begonha, 1997, 2001)	5,27 – 7,46
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (Begonha, 1997, 2001)	3,96 – 4,29
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (Begonha, 2000)	4,61 – 4,88
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (Begonha, 2000)	5,68 – 7,09
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado (Begonha, 2000)	7,36 – 8,53
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado (Begonha, 2002)	6,83 – 8,58
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos (Begonha, 2003a)	2,99 – 4,00
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia (Begonha, 2003a)	2,12 – 2,31
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular de intensidade intermédia (Begonha, 2003a)	2,75 – 3,58
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado (Begonha, 2003b)	4,77 – 5,88
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado (Begonha, 2003b)	6,08 – 7,26

Tabela 5.2: Valores limites de N_{48} em perfis de meteorização de granitos e pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	N_{48} (%)
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado (Begonha, 2003b)	4,16 – 5,87
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado (Begonha, 2003b)	6,09 – 7,68
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (Begonha, 2004, Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	3,02 – 4,19
Antiga Alfândega de Vila do Conde – Granito de grão médio afetado por desagregação granular (Ferreira, 2004)	2,88 – 5,48
Antiga Alfândega de Vila do Conde – Granito de grão médio afetado por desagregação granular intensa (Ferreira, 2004)	6,55 – 8,48
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	3,00 – 3,66
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006)	4,85 – 6,19
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006)	7,08 – 10,30
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular (Fojo, 2006)	4,04 – 4,48
Sé Catedral de Évora – Granito de duas micas meteorizado, afetado por desagregação granular (Costa, 2007)	5,8±0,2 – 6,9±0,3
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,26 – 2,49
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	5,87 – 6,81
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	2,58 – 2,82
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	4,42 – 5,35
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1, 2, 3 e 5 (Resende, 2010)	1,92 – 2,63
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 (Resende, 2010)	3,72 – 3,91
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado (Silva, 2012)	2,49 – 2,57
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia (Silva, 2012)	3,13 – 3,30

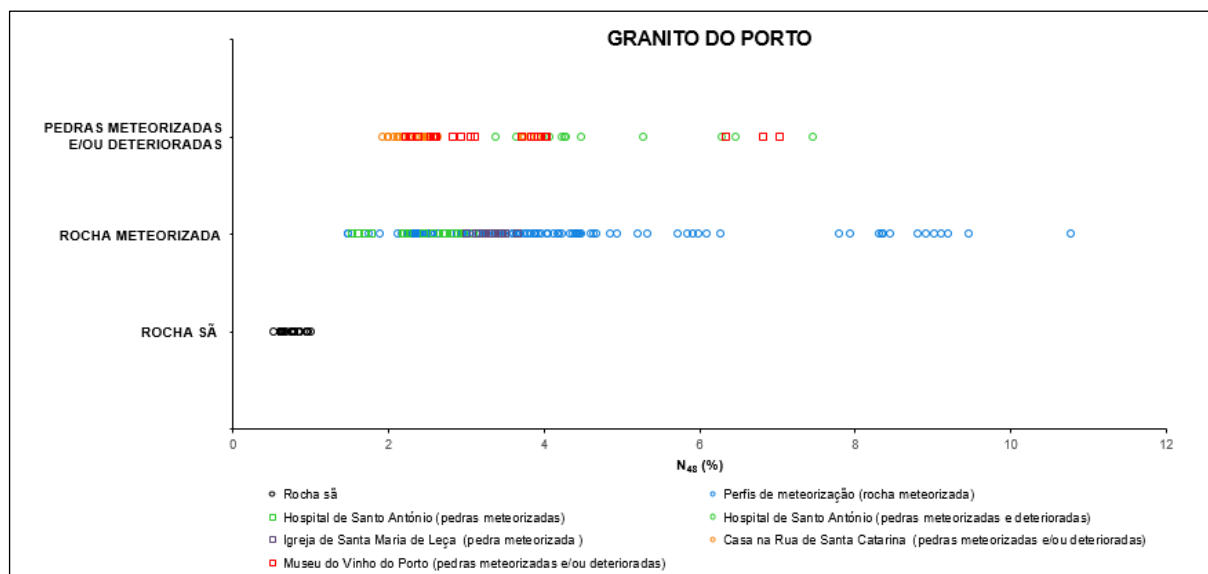


Figura 5.1: Granito do Porto – Valores de N_{48} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

5.3. DENSIDADE APARENTE

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos para a densidade aparente.

Verifica-se que os tarolos MVP C1, MVP C3, MVP C4 e MVP C7 possuem maior densidade ($2,52 \leq d \leq 2,57$), seguindo-se os tarolos MVP C2 e MVP C5 ($2,46 \leq d \leq 2,51$). O tarolo MVP C6 apresenta valores de densidade aparente muito inferiores ($2,36 \leq d \leq 2,38$).

Nos tarolos MVP C1, MVP C4 e MVP C6 com apenas uma face exposta, a densidade aparente manteve-se aproximadamente constante, não variando mais de 0,02 ao longo de cada tarolo. Pelo contrário, nos tarolos MVP C2 e MVP C7, igualmente com uma única face exposta, a variação de d é significativa ao longo de cada um deles e igual a 0,05.

Nos tarolos com as duas faces expostas MVP C3 e MVP C5, a densidade aparente manteve-se aproximadamente constante, verificando-se, no entanto, comportamentos antónimos, uma vez que, no tarolo MVP C3, a densidade atinge o seu valor superior no provete central, enquanto que, no tarolo MVP C5, o provete central exhibe o menor valor de densidade aparente.

A Tabela 5.4 indica os valores limite da densidade aparente em perfis de meteorização de granitos e em pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal.

A densidade aparente obtida nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendida entre 2,36 e 2,57. Estes valores comprovam que as pedras utilizadas neste edifício ostentavam diferentes graus de meteorização herdadas da pedreira, uma vez que o granito do Porto não meteorizado apresenta valores de densidade aparente compreendidos entre $2,62 \leq d \leq 2,65$ (Begonha, 1997, 2001) (Tabela 5.4).

Comparando os valores da densidade aparente de granito do Porto meteorizado/deteriorado no caso em estudo com os de pedras de granito do Porto de perfis de meteorização ou empregues noutros edifícios e monumentos, verifica-se que estes se enquadram bastante bem nos valores apresentados na Tabela 5.4 e Figura 5.2, compreendidos entre 2,34 e 2,62.

Tabela 5.3: Resultados do ensaio de determinação da densidade aparente (d)

Tarolo	Provete	d
MVP C1	MVP C1.1	2,53
	MVP C1.2	2,54
	MVP C1.3	2,54
	MVP C1.4	2,53
	MVP C1.5	2,52
MVP C2	MVP C2.1	2,46
	MVP C2.2	2,49
	MVP C2.3	2,51
MVP C3	MVP C3.1	2,55
	MVP C3.2	2,56
	MVP C3.3	2,55
MVP C4	MVP C4.1	2,55
	MVP C4.2	2,55
	MVP C4.3	2,54
MVP C5	MVP C5.1	2,49
	MVP C5.2	2,48
	MVP C5.3	2,50
MVP C6	MVP C6.1	2,38
	MVP C6.2	2,36
	MVP C6.3	2,37
MVP C7	MVP C7.1	2,57
	MVP C7.2	2,52

Os valores obtidos neste trabalho incluem-se igualmente no intervalo (2,27 a 2,61) referente a outros tipos de granito publicados na bibliografia e apresentados na Tabela 5.4.

A Figura 5.3 mostra a correlação linear negativa encontrada entre N_{48} e d para os resultados obtidos a partir dos 22 provetes ($N = 22$) de pedras empregues no Museu do Vinho do Porto, onde se observa um coeficiente de correlação bastante elevado e igual a $R^2 = 0,9741$.

Comparando com as correlações obtidas em perfis de meteorização de granito do Porto e em pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue o mesmo granito (Tabela 5.5), a correlação linear negativa calculada é semelhante às apresentadas. Os coeficientes de correlação são elevados à exceção do obtido por Moutinho (2005) na Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio (R^2 de 0,1427 e $N = 14$). Este resulta do facto de a gama de valores de d ser muito baixa ($2,52 \leq d \leq 2,55$). Contudo, quando se observa a Figura 5.4, constata-se que os valores se enquadram nos restantes. Nesta figura, projetaram-se os valores de d e N_{48} de 228 provetes estudados em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues em Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001), Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio (Moutinho, 2005), casa na Rua de Santa Catarina (Resende, 2010)

Tabela 5.4: Valores limites de d em perfis de meteorização de granitos e em pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	d
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,22 \% \leq N_{48} \leq 7,03 \%$)	2,36 – 2,57
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado ($5,13 \% \leq N_{48} \leq 9,63 \%$) (Castro <i>et al.</i> , 1991a)	2,39 – 2,50
Granito do Porto não meteorizado ($0,52 \% \leq N_{48} \leq 1,00 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,62 – 2,65
Granito do Porto meteorizado ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 3,96 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,53 – 2,60
Granito do Porto meteorizado ($4,04 \% \leq N_{48} \leq 6,26 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,47 – 2,54
Granito do Porto muito meteorizado ($7,79 \% \leq N_{48} \leq 10,77 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,34 – 2,41
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($1,53 \% \leq N_{48} \leq 1,78 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,61 – 2,62
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($2,19 \% \leq N_{48} \leq 3,10 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,55 – 2,59
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas ($3,38 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,52 – 2,56
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas ($5,27 \% \leq N_{48} \leq 7,46 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,42 – 2,48
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular ($3,96 \% \leq N_{48} \leq 4,29 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2,52 – 2,53
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($4,61 \% \leq N_{48} \leq 4,88 \%$) (Begonha, 2000)	2,50 – 2,52
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($5,68 \% \leq N_{48} \leq 7,09 \%$) (Begonha, 2000)	2,45 – 2,52
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($7,36 \% \leq N_{48} \leq 8,53 \%$) (Begonha, 2000)	2,38 – 2,41
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado ($6,83 \% \leq N_{48} \leq 8,58 \%$) (Begonha, 2002)	2,35 – 2,42
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos ($2,99 \% \leq N_{48} \leq 4,00 \%$) (Begonha, 2003a)	2,52 – 2,53
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 2,31 \%$) (Begonha, 2003a)	2,58
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular de intensidade intermédia ($2,75 \% \leq N_{48} \leq 3,58 \%$) (Begonha, 2003a)	2,54 – 2,56
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado ($4,77 \% \leq N_{48} \leq 5,88 \%$) (Begonha, 2003b)	2,46 – 2,50
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado ($6,08 \% \leq N_{48} \leq 7,26 \%$) (Begonha, 2003b)	2,42 – 2,47
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado ($4,16 \% \leq N_{48} \leq 5,87 \%$) (Begonha, 2003b)	2,46 – 2,53

Tabela 5.4: Valores limites de d em perfis de meteorização de granitos e em pedras de granito utilizadas em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	d
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado ($6,09 \% \leq N_{48} \leq 7,68 \%$) (Begonha, 2003b)	2,39 – 2,43
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado ($3,02 \% \leq N_{48} \leq 4,19 \%$) (Begonha, 2004, Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	2,49 – 2,52
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,00 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	2,52 – 2,55
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,85 \% \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	2,43 – 2,48
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($7,08 \% \leq N_{48} \leq 10,30 \%$) (Fojo, 2006)	2,27 – 2,39
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,04 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	2,48 – 2,51
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	2,53 – 2,57
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	2,27 – 2,41
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	2,52 – 2,56
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) ($4,42 \% \leq N_{48} \leq 5,35 \%$) (Bré, 2008)	2,36 – 2,47
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 ($1,92 \% \leq N_{48} \leq 2,63 \%$) (Resende, 2010)	2,54 – 2,58
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 ($3,72 \% \leq N_{48} \leq 3,91 \%$) (Resende, 2010)	2,50 – 2,54
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	2,59 – 2,61
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	2,54 – 2,55

Comparando com as correlações obtidas em perfis de meteorização de granito do Porto e em pedras de e Museu do Vinho do Porto. O valor da densidade aparente diminui linearmente com a porosidade livre às 48 horas, tendo-se obtido uma correlação linear negativa ($d = -0,0312 \times N_{48} + 2,6493$) com elevado coeficiente de correlação ($R^2 = 0,9251$ e $N = 228$).

Por outro lado, na Figura 5.4, os pontos relativos ao Museu do Vinho do Porto encontram-se abaixo da regressão linear encontrada, ou seja, para iguais valores de N_{48} a densidade aparente é menor. Este facto pode ser eventualmente explicado pela ação dos sais associados ao armazenamento de bacalhau, os quais aumentaram a porosidade da pedra e, consequentemente, diminuíram a densidade aparente. Por este motivo, há uma redução do coeficiente de correlação linear ($R^2 = 0,9251$ e $N = 228$), quando comparado com os obtidos por Begonha (1997, 2001) ($R^2 = 0,9882$ e $N = 164$) e Silva (2012) ($R^2 = 0,9639$ e $N = 206$).

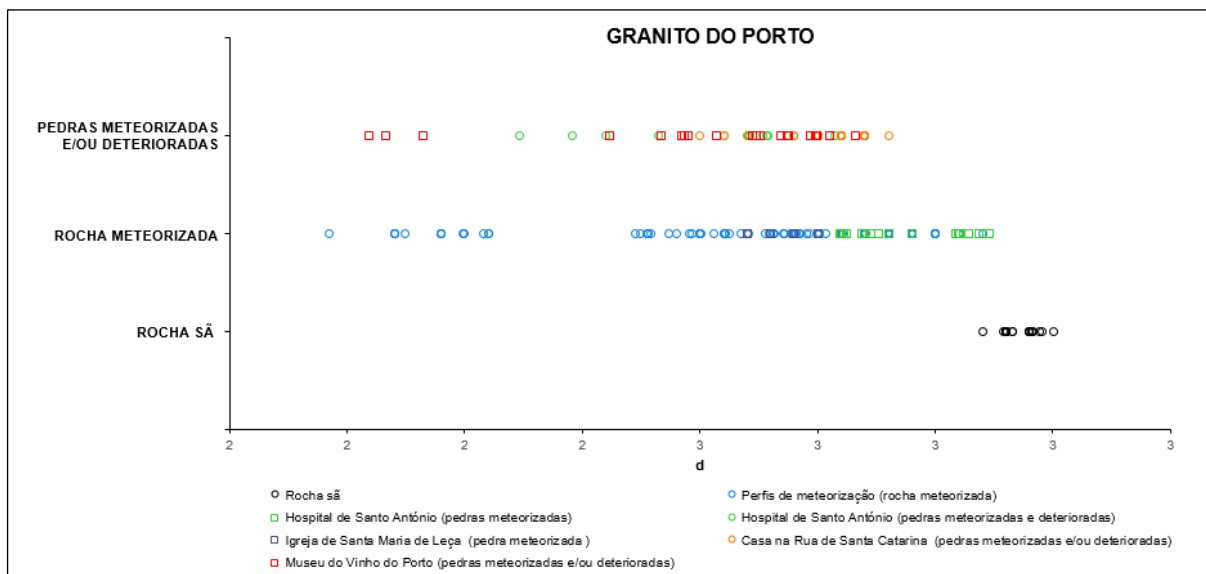


Figura 5.2: Granito do Porto – Valores de d obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

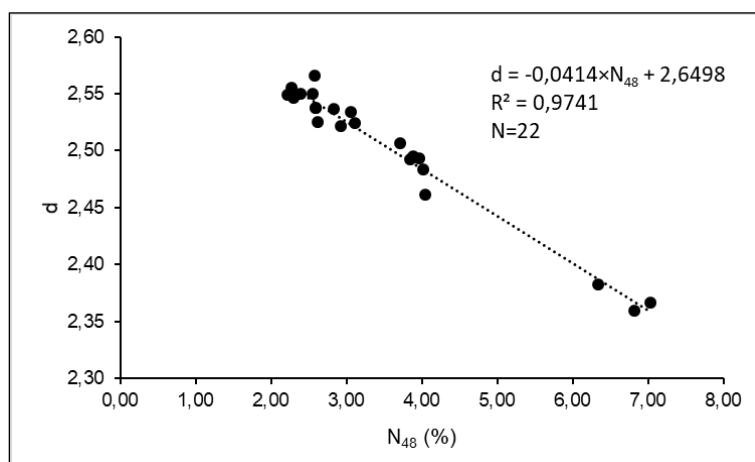
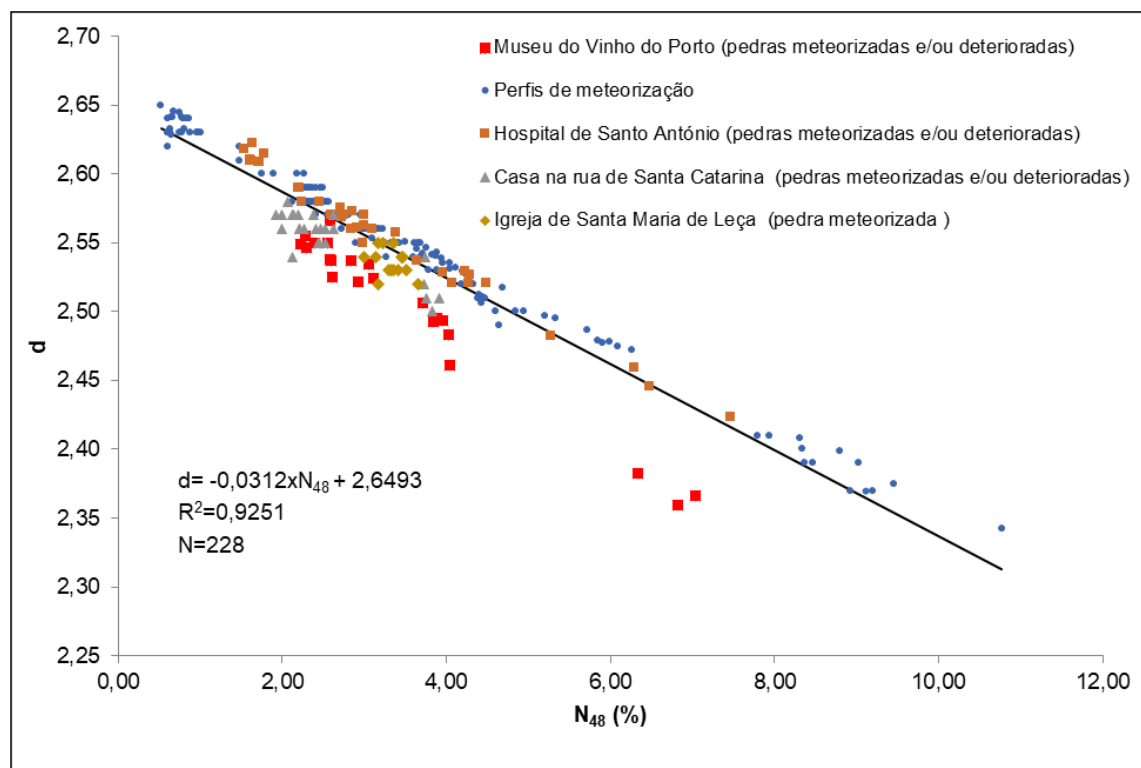


Figura 5.3: Correlação linear obtida entre N₄₈ e d para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

Tabela 5.5: Correlações lineares negativas entre N_{48} e d em perfis de meteorização de granito do Porto e/ou pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto

Casos de estudo	Correlação d (N_{48})	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto	$d = -0,0414 \times N_{48} + 2,6498$	0,9741	22
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$d = -0,0312 \times N_{48} + 2,6493$	0,9251	228
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António) (Begonha, 1997, 2001)	$d = -0,0309 \times N_{48} + 2,6562$	0,9882	167
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e casa na rua de Santa Catarina) (Silva, 2012)	$d = -0,0304 \times N_{48} + 2,6504$	0,9639	206
Granito do Porto – Perfis de meteorização (Silva, 2012)	$d = -0,0307 \times N_{48} + 2,6554$	0,9891	131
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Silva, 2012)	$d = -0,0331 \times N_{48} + 2,6630$	0,9853	36
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	$d = -0,0221 \times N_{48} + 2,6090$	0,1427	14
Casa na rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$d = -0,0293 \times N_{48} + 2,6286$	0,7717	25

Figura 5.4: Correlação linear negativa entre d e N_{48} de perfis de meteorização do granito do Porto e de pedras de granito do Porto empregue em monumentos e edifícios

5.4. POROMETRIA COM O POROSÍMETRO DE MERCÚRIO

A Tabela 5.6 apresenta os resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio, designadamente, a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), a microporosidade (N_{μ}), a razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) e os diâmetros de acesso das famílias de fissuras (d_a) para as amostras de granito do Porto MVP P1.1, MVP P3.1, MVP P3.2, MVP P6.1 e MVP P7.1. Em cada amostra, refere-se o estado de deterioração da pedra de onde o tarolo associado foi removido. No caso de redes porosas bimodais, o primeiro valor do diâmetro de acesso corresponde ao da família de fissuras principal e o segundo ao da família secundária.

Tabela 5.6: Resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio

Amostra		N_{Hg} (%)	N_{μ} (%)	N_{μ}/N_{Hg} (%)	d_a (μm)	Tipo de rede porosa
MVP P1.1	Fragmento de tarolo de granito associado a pedra com desagregação granular inexistente a fraca	3,55	2,29	64,6	0,73	Unimodal
MVP P3.1	Fragmentos de tarolo de granito associado a desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas	3,23	2,16	67,0	1,02 9,06	Bimodal
MVP P3.2		2,80	2,07	73,8	0,52 – 1,55	Unimodal
MVP P6.1	Fragmento de tarolo de granito associado a pedra com desagregação granular de intensidade forte	7,12	4,61	64,8	1,55 15,10	Bimodal
MVP P7.1	Fragmento de tarolo de granito associado a pedra com desagregação granular inexistente a fraca	3,66	2,42	66,0	0,61 – 7,24	Unimodal

Conforme se pode verificar na amostra MVP P6.1, a porosidade total ao mercúrio toma o valor de 7,12 %, sendo muito superior ao das restantes amostras.

Seguem-se, com valores muito aproximados entre si, as amostras MVP P1.1 e MVP P7.1 com valores de porosidade total ao mercúrio de 3,55 % e 3,66 %, respetivamente.

As amostras MVP P3.1 e MVP P3.2, associadas às extremidades do tarolo MVP C3, ou seja, às extremidades da própria pedra, denotam valores mais baixos, sendo que é inferior na amostra MVP P3.2, com uma porosidade total de 2,80 %, enquanto que na amostra MVP P3.1, o valor da porosidade total é de 3,23 %.

Constata-se ainda que, em todas as amostras, a microporosidade é superior à macroporosidade N_M ($N_\mu/N_{Hg} > 50\%$), variando entre 64,6 % na amostra MVP P1.1 e 73,8 % na amostra MVP P3.2.

Relativamente ao tipo de rede porosa, as amostras MVP P1.1 e MVP P7.1 apresentam uma rede porosa unimodal, com diâmetros de acesso de 0,73 μm na amostra MVP P1.1 (Figura 5.5) e entre 0,61 μm e 7,24 μm na amostra MVP P7.1 (Figura 5.6).

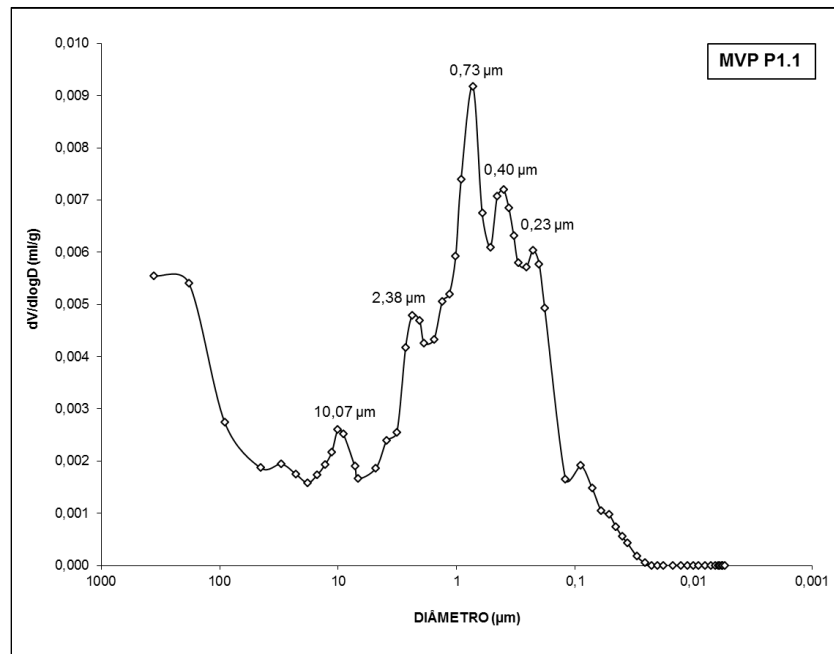


Figura 5.5: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P1.1 associada ao tarolo MVP C1, recolhido em pedra com desagregação granular inexistente a fraca

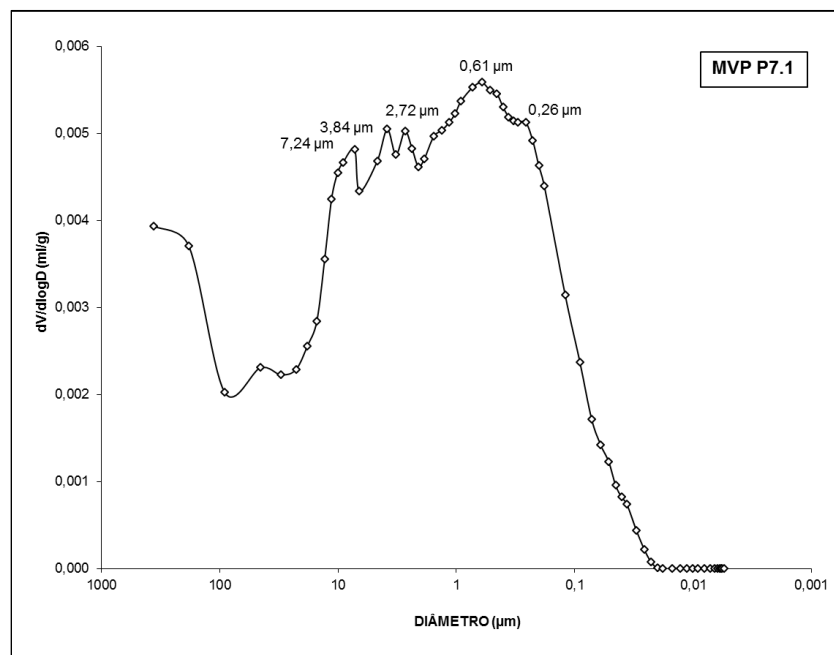


Figura 5.6: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P7.1 associada ao tarolo MVP C7, recolhido em pedra com desagregação granular inexistente a fraca

A amostra MVP P6.1 possui uma rede porosa bimodal com diâmetros de acesso da família principal igual a $1,55\ \mu\text{m}$ e de $15,10\ \mu\text{m}$ para a família secundária (Figura 5.7), sendo esta a que apresenta diâmetros de acesso maiores.

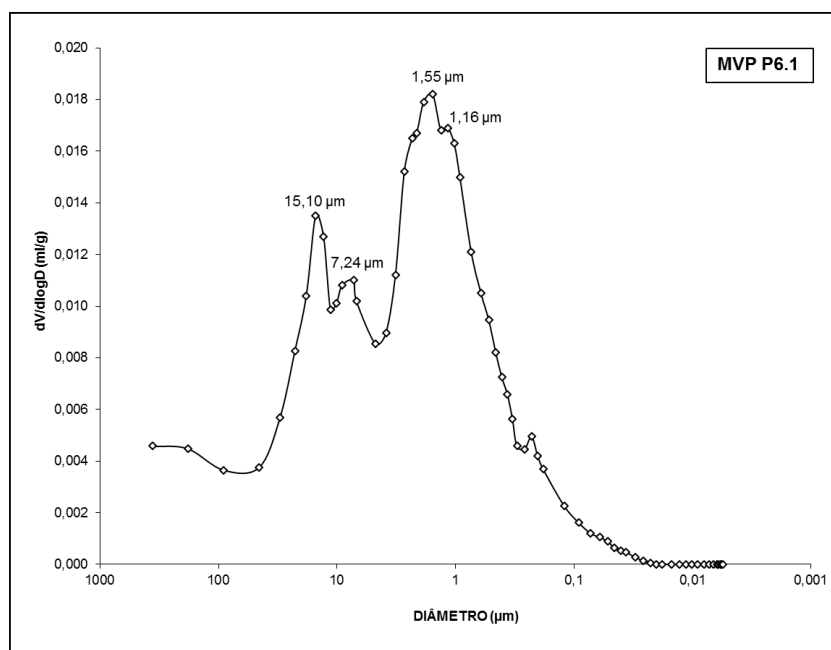


Figura 5.7: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P6.1 associada ao tarolo MVP C6, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade forte

Nas amostras MVP P3.1 e MVP P3.2, pertencentes ao mesmo tarolo MVP C3, onde já se denotou um aumento da porosidade total N_{Hg} e diminuição da relação N_{μ}/N_{Hg} da amostra MVP P3.2 para a MVP P3.1, verifica-se a transformação da rede porosa unimodal, da amostra MVP P3.2 (Figura 5.8), para bimodal, na amostra MVP P3.1 (Figura 5.9). O diâmetro da principal família de fissuras não sofreu uma alteração significativa (entre $0,52\ \mu\text{m}$ e $1,55\ \mu\text{m}$ na amostra MVP P3.2 e de $1,02\ \mu\text{m}$ na amostra MVP P3.1), tendo ocorrido o aparecimento de uma família secundária ($9,06\ \mu\text{m}$).

Confirmando os resultados da porosidade livre às 48 horas e da densidade aparente, os valores obtidos com o porosímetro de mercúrio, não denotam a variação esperada relativamente à análise realizada *in loco* do tipo e intensidade de deterioração da pedra associada a cada tarolo, pelo que, será a análise conjunta dos resultados dos vários ensaios que permitirá conclusões mais acertadas sobre o estado de deterioração do material pétreo no Museu do Vinho do Porto.

A Tabela 5.7 indica os valores limite para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito utilizadas em monumentos e edifícios de Portugal.

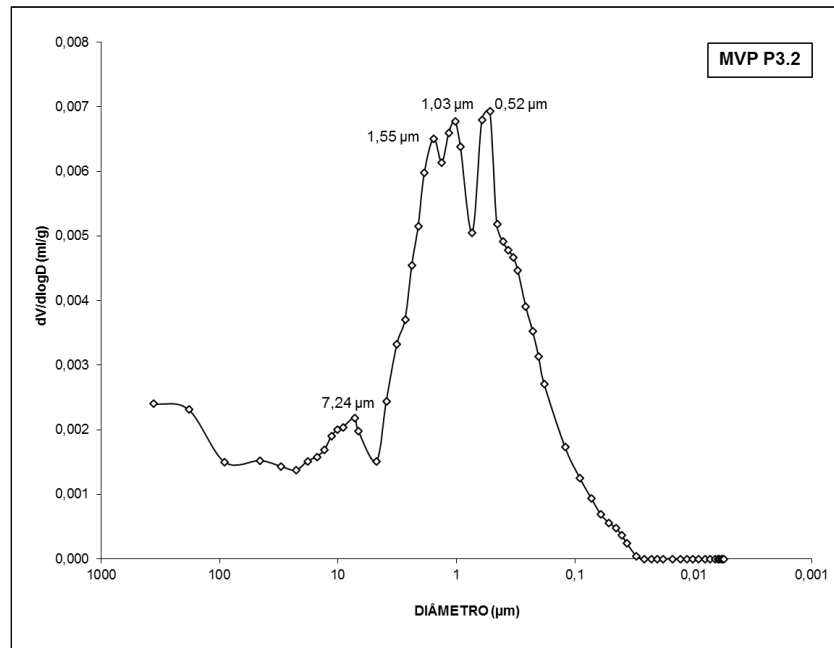


Figura 5.8: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P3.2 associada ao tarolo MVP C3, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas

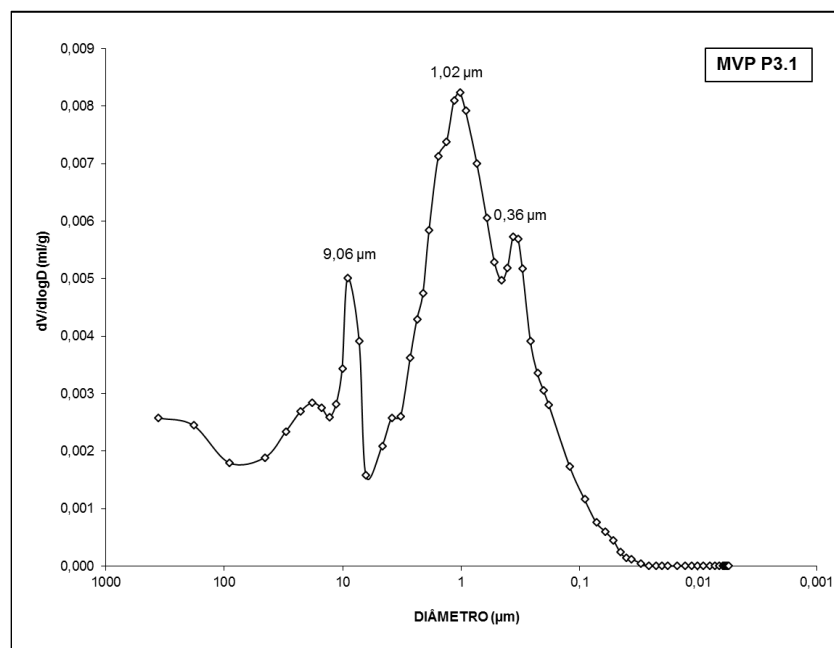


Figura 5.9: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra MVP P3.1 associada ao tarolo MVP C3, recolhido em pedra com desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas

Tabela 5.7: Resultados obtidos para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos em Portugal

Casos de estudo	N_{Hg} (%)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (2,22 % $\leq N_{48} \leq 7,03$ %)	2,80 – 7,12
Granito do Porto não meteorizado (0,75 % $\leq N_{48} \leq 0,97$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,59 – 1,05
Granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,27$ %)* (Begonha, 1997, 2001)	2,60 – 3,78
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (1,60 % $\leq N_{48} \leq 1,63$ %) (Begonha, 1997, 2001)	1,54 – 1,69
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,85$ %) (Begonha, 1997, 2001)	2,57
Hospital de Santo António – Placa de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	5,85
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (5,68 % $\leq N_{48} \leq 6,61$ %) (Begonha, 2000)	5,95 – 6,25
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($N_{48} = 7,36$ %) (Begonha, 2000)	8,46
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado ($N_{48} = 8,58$ %) (Begonha, 2002)	7,60 – 12,38
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos (2,99 % $\leq N_{48} \leq 4,00$ %) (Begonha, 2003a)	4,91
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia (2,12 % $\leq N_{48} \leq 2,31$ %) (Begonha, 2003a)	3,36
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular intermédia (2,75 % $\leq N_{48} \leq 3,58$ %) (Begonha, 2003a)	3,87
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado (5,32 % $\leq N_{48} \leq 5,75$ %) (Begonha, 2003b)	6,83 – 8,13
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado (7,66 % $\leq N_{48} \leq 8,24$ %) (Begonha, 2003b)	9,45 – 9,90
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado (4,49 % $\leq N_{48} \leq 4,51$ %) (Begonha, 2003b)	5,64 – 5,74
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado (7,99 % $\leq N_{48} \leq 8,32$ %) (Begonha, 2003b)	8,89 – 9,09
Igreja Matriz de Vila do Conde – Granito de grão fino afetado por desagregação granular muito intensa (Begonha, 2003c)	10,07
Chafariz de Caminha – Granito de grão fino e médio afetado por desagregação granular de intensidade fraca (Begonha, 2003d)	6,09
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (3,02 % $\leq N_{48} \leq 4,19$ %) (Begonha, 2004 e Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	4,42 – 4,64
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado (Begonha, 2005)	4,27 – 5,18
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado afetado por desagregação granular (Begonha, 2005)	6,11
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (3,00 % $\leq N_{48} \leq 3,66$ %) (Moutinho, 2005)	4,20 – 4,43

Tabela 5.7: Resultados obtidos para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos em Portugal (continuação)

Casos de estudo	N_{Hg} (%)
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($6,11 \% \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	7,69 – 7,81
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($9,24 \% \leq N_{48} \leq 9,87 \%$) (Fojo, 2006)	9,42 – 11,21
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,05 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	5,33 – 6,76
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	2,89
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	7,42
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	4,39
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara com desagregação granular de intensidade média (Costa Leite, 2008)	9,37
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular ($5,22 \% \leq N_{48} \leq 5,35 \%$) (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	5,09 – 5,44
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular de intensidade forte (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	8,92
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto meteorizado, não deteriorado (Madureira, 2008)	6,65
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular intensa (Madureira, 2008)	7,52
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular muito intensa (Madureira, 2008)	9,46
Mosteiro da Serra do Pilar – Placa de granito do Porto (Madureira, 2008)	9,43
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por desagregação granular (Cardoso, 2008)	7,79
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por placa (Cardoso, 2008)	6,26
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão grosseiro afetado por desagregação granular de intensidade média ou forte, com ou sem alvéolos (Begonha e Novais, 2011)	5,19 – 16,77
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão fino afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	12,37
Mosteiro de Travanca – Placa de granito de grão médio afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	22,01
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	3,12
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	4,88

Tabela 5.7: Resultados obtidos para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos em Portugal (continuação)

Casos de estudo	N _{Hg} (%)
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Placa de granito meteorizado (Silva, 2012)	5,62
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Fragmento de granito meteorizado com desagregação granular de intensidade intermédia e que resultou de queda provocada por oxidação de uma peça metálica (Silva, 2012)	10,27
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular intensa (Silva, 2012)	13,99

* N₄₈ só foi determinada para uma das amostras.

A porosidade total ao mercúrio obtida nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendidos entre 2,80 % e 7,12 %, verificando-se assim, que é um granito bastante meteorizado/deteriorado, uma vez que Begonha (1997, 2001) obteve valores entre 0,59 % e 1,05 % para granito do Porto não meteorizado.

Confrontando os valores obtidos para o caso em estudo com os apresentados na Tabela 5.7 e Figura 5.13 para perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto, estes englobam o intervalo de valores ($1,54 \% \leq N_{Hg} \leq 9,46 \%$).

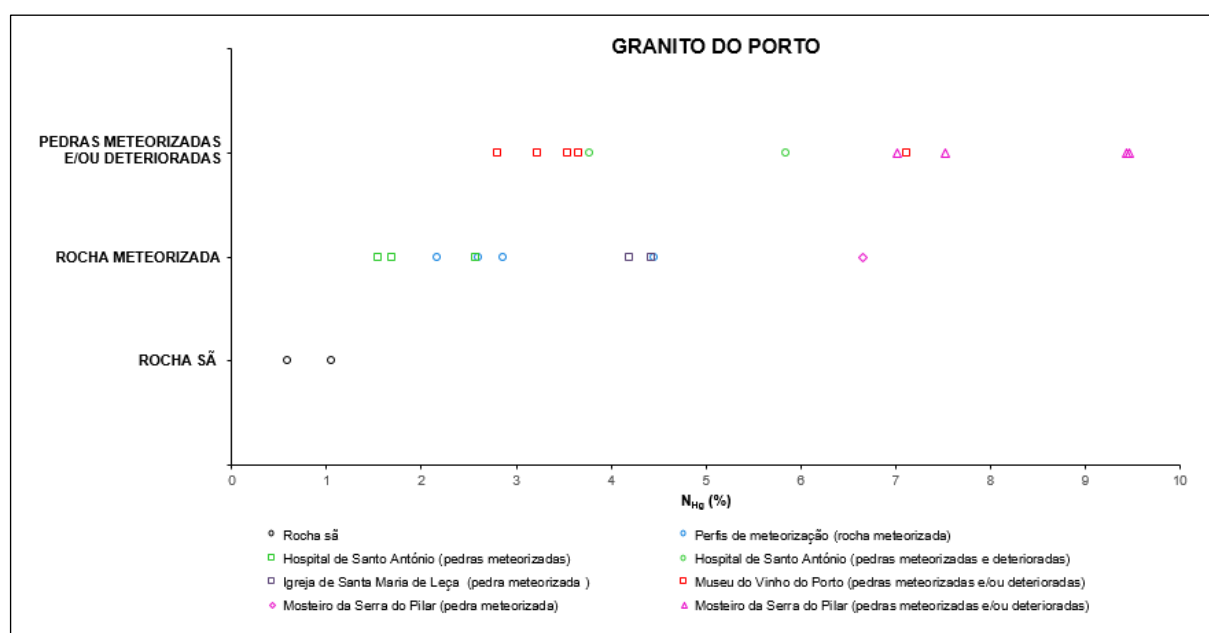


Figura 5.10: Granito do Porto – Valores de N_{Hg} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

Por último, comparando os valores obtidos neste trabalho com os referidos na Tabela 5.7 para edifícios e monumentos onde foram empregues outros tipos de granito, verifica-se um intervalo entre 2,89 % e 22,01 %.

Na Tabela 5.8, observam-se os valores obtidos para a razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos em Portugal.

Tabela 5.8: Razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) para perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	(N_{μ}/N_{Hg}) (%)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,22 \% \leq N_{48} \leq 7,03 \%$)	64,6 – 73,8
Granito do Porto não meteorizado ($0,75 \% \leq N_{48} \leq 0,97 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	80 – 82
Granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,27 \%$)* (Begonha, 1997, 2001)	88 – 100
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($1,60 \% \leq N_{48} \leq 1,63 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	88 – 89
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,85 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	100
Hospital de Santo António – Placa de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	75
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($5,95 \% \leq N_{48} \leq 6,25 \%$) (Begonha, 2000)	83 – 96
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($N_{48} = 7,36 \%$) (Begonha, 2000)	81
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado ($N_{48} = 8,58 \%$) (Begonha, 2002)	79 - 80
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos ($2,99 \% \leq N_{48} \leq 4,00 \%$) (Begonha, 2003a)	65
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 2,31 \%$) (Begonha, 2003a)	64
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular intermédia ($2,75 \% \leq N_{48} \leq 3,58 \%$) (Begonha, 2003a)	79
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado ($5,32 \% \leq N_{48} \leq 5,75 \%$) (Begonha, 2003b)	67 – 73
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado ($7,66 \% \leq N_{48} \leq 8,24 \%$) (Begonha, 2003b)	70 – 72
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado ($4,49 \% \leq N_{48} \leq 4,51 \%$) (Begonha, 2003b)	77 – 80
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado ($7,99 \% \leq N_{48} \leq 8,32 \%$) (Begonha, 2003b)	72 - 79
Igreja Matriz de Vila do Conde – Granito de grão fino afetado por desagregação granular muito intensa (Begonha, 2003c)	65
Chafariz de Caminha – Granito de grão fino e médio afetado por desagregação granular de intensidade fraca (Begonha, 2003d)	76
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino de duas micas meteorizado ($3,02 \% \leq N_{48} \leq 4,19 \%$) (Begonha, 2004, Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	66 – 78
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado (Begonha, 2005)	63 – 70

Tabela 5.8: Razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) para perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

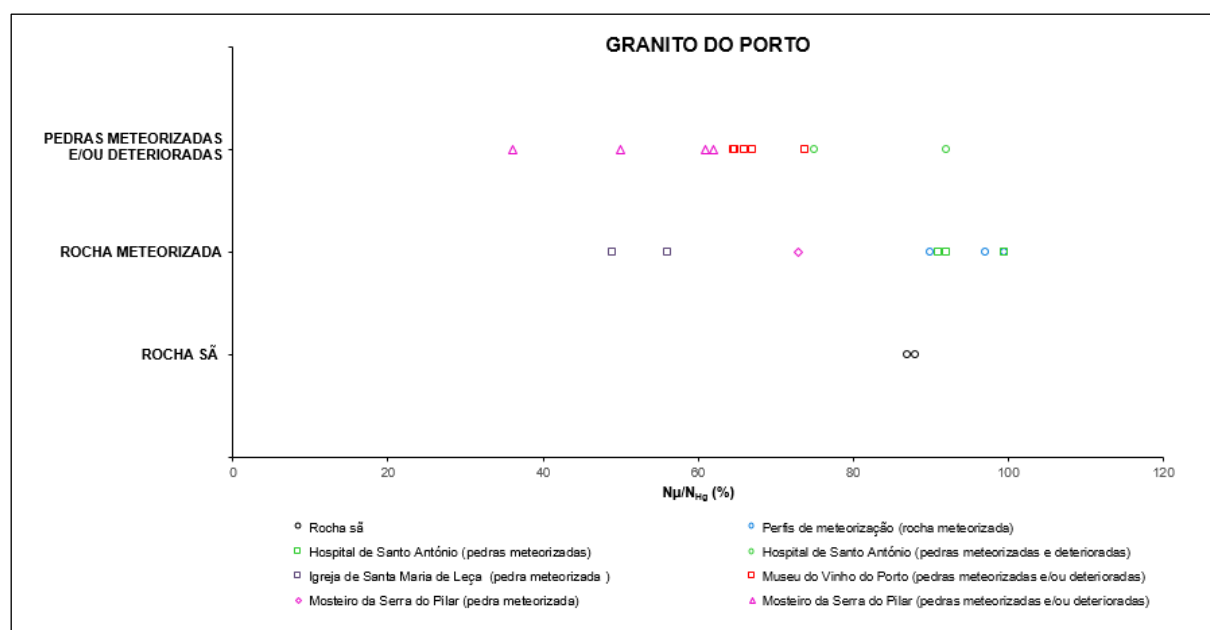
Casos de estudo	(N_{μ}/N_{Hg}) (%)
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado afetado por desagregação granular (Begonha, 2005)	41
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,00 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	49 – 56
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($6,11 \% \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	65 – 67
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($9,24 \% \leq N_{48} \leq 9,87 \%$) (Fojo, 2006)	61 – 62
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,05 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	63 – 78
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	63
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	68
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	78
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado de cor cinzenta muito clara com desagregação granular de intensidade média (Costa Leite, 2008)	68
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular ($5,22 \% \leq N_{48} \leq 5,35 \%$) (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	62 – 64
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular forte (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	43
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto meteorizado, não deteriorado (Madureira, 2008)	73
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular intensa (Madureira, 2008)	61
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular muito intensa (Madureira, 2008)	36
Mosteiro da Serra do Pilar – Placa de granito do Porto (Madureira, 2008)	50
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por desagregação granular (Cardoso, 2008)	70
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por placa (Cardoso, 2008)	66
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão grosseiro afetado por desagregação granular de intensidade média ou forte, com ou sem alvéolos (Begonha e Novais, 2011)	36 – 49
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão fino afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	35
Mosteiro de Travanca – Placa de granito de grão médio afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	41
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	75

Tabela 5.8: Razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) para perfis de meteorização e pedras de granito empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	(N_{μ}/N_{Hg}) (%)
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	65
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Placa de granito meteorizado (Silva, 2012)	53
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Fragmento de granito meteorizado com desagregação granular de intensidade intermédia e que resultou de queda provocada por oxidação de uma peça metálica (Silva, 2012)	53
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular intensa (Silva, 2012)	36

* N_{48} só foi determinada para uma das amostras.

Como referido anteriormente, a microporosidade é superior à macroporosidade, variando entre 64,6 % e 73,8 %. Este comportamento pode ser muitas vezes observado na Tabela 5.8 para vários tipos de granito. No entanto, seria de esperar um valor significativamente mais baixo na amostra MVP P6.1 mais porosa ($N_{\mu}/N_{Hg} = 64,8 \%$) comparativamente com as restantes amostras menos porosas ($64,6 \% \leq N_{\mu}/N_{Hg} \leq 73,8 \%$) (Tabela 5.8 e Figura 5.11).

Figura 5.11: Granito do Porto – Valores de N_{μ}/N_{Hg} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

Assim, apenas se consegue encontrar uma semelhança em perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos onde foi empregue granito do Porto, para os valores obtidos por Begonha (1997, 2001) numa placa de granito meteorizado do Hospital de Santo António ($N_{\mu}/N_{Hg} = 75 \%$) e por Madureira

(2008) numa pedra de granito meteorizado, não deteriorado no Mosteiro da Serra do Pilar ($N_{\mu}/N_{Hg} = 73\%$).

Atendendo aos valores obtidos na Tabela 5.8 para os edifícios e monumentos onde foram empregues outros tipos de granito, verifica-se que não se pode fazer uma comparação global, mas apenas com valores obtidos singularmente nos estudos descritos.

A Tabela 5.9 exibe os valores das aberturas de acesso das principais famílias de fissuras em perfis de meteorização e pedras de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal.

Tabela 5.9: Valores limite das aberturas de acesso das principais famílias de fissuras de perfis de meteorização e pedras de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal

Casos de estudo	Família principal d_a (μm)	Famílias secundárias d_a (μm)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,22\% \leq N_{48} \leq 7,03\%$)	0,52 – 7,24	9,06 e 15,10
Granito de Braga meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Granito de Gondizalves meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Granito do Porto não meteorizado ($0,75\% \leq N_{48} \leq 0,97\%$) (Begonha, 1997, 2001)	0,19 – 0,36	9,94 – 9,95
Granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,27\%$)* (Begonha, 1997, 2001)	0,73 – 1,04	
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($1,60\% \leq N_{48} \leq 1,63\%$) (Begonha, 1997, 2001)	0,52	
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($N_{48} = 2,85\%$) (Begonha, 1997, 2001)	1,04 – 1,32	
Hospital de Santo António – Placa de granito do Porto meteorizado (Begonha, 1997, 2001)	10,83	0,73
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($5,68\% \leq N_{48} \leq 6,61\%$) (Begonha, 2000)	1,06 – 2,77	10,37 – 10,41
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($N_{48} = 7,36\%$) (Begonha, 2000)	1,90 – 2,13	10,20
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado ($N_{48} = 8,58\%$) (Begonha, 2002)	1,63 – 1,64	9,05 – 18,03
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos ($2,99\% \leq N_{48} \leq 4,00\%$) (Begonha, 2003a)	0,80	14,21
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia ($2,12\% \leq N_{48} \leq 2,31\%$) (Begonha, 2003a)	0,94	31,61
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular intermédia ($2,75\% \leq N_{48} \leq 3,58\%$) (Begonha, 2003a)	0,80 – 1,88	9,36
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado ($5,32\% \leq N_{48} \leq 5,75\%$) (Begonha, 2003b)	1,87 – 1,90	9,31 – 9,36

Tabela 5.9: Valores limite das aberturas de acesso das principais famílias de fissuras de perfis de meteorização e pedras de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal (continuação)

Casos de estudo	Família principal da (μm)	Famílias secundárias da (μm)
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado ($7,66 \% \leq N_{48} \leq 8,24 \%$) (Begonha, 2003b)	3,30 – 4,04	8,56 – 9,10
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado ($4,49 \% \leq N_{48} \leq 4,51 \%$) (Begonha, 2003b)	0,95 – 1,21	9,03 – 9,25
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado ($7,99 \% \leq N_{48} \leq 8,32 \%$) (Begonha, 2003b)	1,91 – 1,91	9,10 – 14,11
Igreja Matriz de Vila do Conde – Granito de grão fino com desagregação granular muito intensa (Begonha, 2003c)	3,99	9,45
Chafariz de Caminha – Granito de grão fino e médio com desagregação granular de intensidade fraca (Begonha, 2003d)	1,34	18,02
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado ($3,02 \% \leq N_{48} \leq 4,19 \%$) (Begonha, 2004, Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	0,33 – 2,06	8,69 – 9,26
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado (Begonha, 2005)	0,40 – 1,17	9,50 – 9,96
Igreja de Nossa Senhora da Lapa – Granito do Porto meteorizado afetado por desagregação granular (Begonha, 2005)	16,32	5,20
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,00 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	10,7 – 18,5	1,6 – 2,8
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($6,11 \% \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	12,58 – 12,95	0,19 – 3,83
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($9,24 \% \leq N_{48} \leq 9,87 \%$) (Fojo, 2006)	9,17 – 29,23	0,33 – 3,69
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,05 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	1,95 – 4,86	8,74 – 10,14
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,76	9,49 – 13,03
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,78	9,05 – 16,09
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,79	
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado de cor cinzenta muito clara com desagregação granular de intensidade média (Costa Leite, 2008)	2,39	9,19
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular ($5,22 \% \leq N_{48} \leq 5,35 \%$) (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	10,50 – 16,10	0,32
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular forte (Granito de Lavadores) (Bré, 2008)	31,54	2,97
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto meteorizado, não deteriorado (Madureira, 2008)	0,28 – 0,82	8,52

Tabela 5.9: Valores limite das aberturas de acesso das principais famílias de fissuras de perfis de meteorização e pedras de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal (continuação)

Casos de estudo	Família principal d_a (μm)	Famílias secundárias d_a (μm)
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular intensa (Madureira, 2008)	0,82	8,14 – 8,33
Mosteiro da Serra do Pilar – Pedra de granito do Porto afetado por desagregação granular muito intensa (Madureira, 2008)	34,54	
Mosteiro da Serra do Pilar – Placa de granito do Porto (Madureira, 2008)	21,96 – 34,54	
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por desagregação granular (Cardoso, 2008)	1,62	9,66
Mosteiro de Paço de Sousa – Aplito com turmalina meteorizado, afetado por placa (Cardoso, 2008)	2,35	9,92
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão grosseiro afetado por desagregação granular de intensidade média com alvéolos (Begonha e Novais, 2011)	75,37	8,06
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão grosseiro afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	10,99	3,51 – 4,40
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão grosseiro afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos (Begonha e Novais, 2011)	2,53	8,43
Mosteiro de Travanca – Pedra de granito de grão fino afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	2,53	75,38
Mosteiro de Travanca – Placa de granito de grão médio afetado por desagregação granular de intensidade forte (Begonha e Novais, 2011)	2,22	8,85 - 17,30
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$)	0,97	
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$)	2,53	10,69
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Placa de granito meteorizado (Silva, 2012)	1,70	9,57
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino – Fragmento de granito meteorizado com desagregação granular de intensidade intermédia e que resultou de queda provocada por oxidação de uma peça metálica (Silva, 2012)	4,37	9,57 269,00
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado com desagregação granular intensa (Silva, 2012)	26,43	

Três das cinco amostras do Museu do Vinho do Porto são unimodais (60 %), as restantes duas bimodais (40 %). A amostra de granito do Porto não meteorizado obtida na pedreira da Trindade por Begonha (1997, 2001) é bimodal. Das 11 amostras de perfis de meteorização e de pedras empregues em monumentos e edifícios de granito do Porto meteorizado/deteriorado, cinco são unimodais (45,5 %) e seis bimodais (54,5 %).

No que concerne a pedras de outros tipos de granito empregues em monumentos e edifícios de Portugal, cinco das 36 amostras são unimodais (13,9 %) e 31 amostras bimodais (86,1 %).

A abertura das fissuras na família principal obtida nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendida entre 0,52 μm e 7,24 μm , revelando-se muito superiores aos obtidos por Begonha (1997, 2001) para o granito do Porto não meteorizado ($0,19 \mu\text{m} \leq d_a \leq 0,36 \mu\text{m}$), o que comprova uma vez mais que as pedras usadas no museu já se apresentavam meteorizadas aquando da sua construção.

Comparando os valores obtidos com os das pedras de granito do Porto empregues noutros edifícios e monumentos, verifica-se que estes se englobam nos valores apresentados na Tabela 5.9, compreendidos entre 0,28 μm e 34,54 μm .

A conclusão retirada para as pedras de granito do Porto pode ser extrapolada para os edifícios e monumentos onde foram empregues outros tipos de granito, uma vez que, nestes casos, a abertura das fissuras da família principal apresenta valores compreendidos entre 0,33 μm e 75,37 μm .

A abertura das fissuras nas famílias secundárias não pode ser utilizada como um parâmetro comparativo, uma vez que depende dos casos de estudo, como pode ser demonstrado através dos dados apresentados na Tabela 5.9.

Os valores obtidos, para a abertura das fissuras na família secundária no caso em estudo, variam entre 9,06 μm e 15,10 μm .

Os valores da abertura das fissuras na família secundária do granito do Porto não meteorizado variam entre 9,94 μm e 9,95 μm . Nos perfis de meteorização e pedras meteorizadas/deterioradas de granito do Porto empregues noutros monumentos e edifícios da cidade, a abertura da família secundária varia entre 0,73 μm e 9,96 μm .

Por fim, os valores da abertura das fissuras na família secundária dos outros tipos de granito presentes na Tabela 5.9 estão compreendidos entre 0,32 μm e 269,00 μm .

Assim, a dimensão da abertura das fissuras das famílias secundárias é um parâmetro que deve ser analisado para cada caso de estudo.

5.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Na Tabela 5.10, exibem-se os valores dos coeficientes de capilaridade A e B obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade.

As Figuras 5.12 e 5.13 mostram os gráficos provenientes do ensaio de absorção de água por capilaridade dos provetes MVP C1.1 e MVP C6.1. No Anexo A2, apresentam-se os resultados e os gráficos obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade em cada um dos 22 provetes cilíndricos ensaiados.

Conforme se pode verificar, todos os 22 provetes estudados de granito do Porto do Museu do Vinho do Porto apresentam, no que concerne o ensaio de absorção de água por capilaridade, comportamento de uma rede porosa unimodal caracterizada por apenas um segmento de reta, como já referido em 3.2.6. O coeficiente de capilaridade A, que traduz o aumento de peso por unidade de superfície e unidade de raiz quadrada do tempo, varia entre 0,0350 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ e 0,0797 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ nos provetes MVP C2.1, MVP C2.2, MVP C3.1, MVP C3.2, MVP C3.3, MVP C4.1, MVP C4.2, MVP C4.3, MVP C7.1 e MVP C7.2, entre 0,0982 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ e 0,1900 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ nos provetes MVP C1.1, MVP C1.2, MVP C1.3, MVP C1.4, MVP C1.5, MVP C2.3, MVP C5.1, MVP C5.2 e MVP C5.3, e, com valores bastante superiores, entre 0,3367 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ e 0,4342 $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ nos provetes MVP C6.1, MVP C6.2 e MVP C6.3.

Tabela 5.10: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

Tarolo	Provete	A ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$)	B ($\text{cm.h}^{-1/2}$)
MVP C1	MVP C1.1	0,1119	4,1870
	MVP C1.2	0,1069	3,8586
	MVP C1.3	0,0982	3,9958
	MVP C1.4	0,1053	4,7790
	MVP C1.5	0,1457	5,1790
MVP C2	MVP C2.1	0,0786	2,3995
	MVP C2.2	0,0797	2,1812
	MVP C2.3	0,1048	2,2384
MVP C3	MVP C3.1	0,0451	1,9923
	MVP C3.2	0,0500	1,7803
	MVP C3.3	0,0350	1,9539
MVP C4	MVP C4.1	0,0542	2,2984
	MVP C4.2	0,0710	2,9870
	MVP C4.3	0,0644	2,7114
MVP C5	MVP C5.1	0,1487	2,3318
	MVP C5.2	0,1900	5,0395
	MVP C5.3	0,1550	5,3248
MVP C6	MVP C6.1	0,3367	5,3262
	MVP C6.2	0,3646	6,6379
	MVP C6.3	0,4342	5,9626
MVP C7	MVP C7.1	0,0562	2,6167
	MVP C7.2	0,0760	2,9019

Analisando a variação em profundidade, observa-se que no tarolo MVP C4 o coeficiente de capilaridade A atinge o seu valor máximo no centro do mesmo. Este comportamento também ocorre nos tarolos MVP C3 e MVP C5, que têm a particularidade de as duas faces exteriores estarem livres.

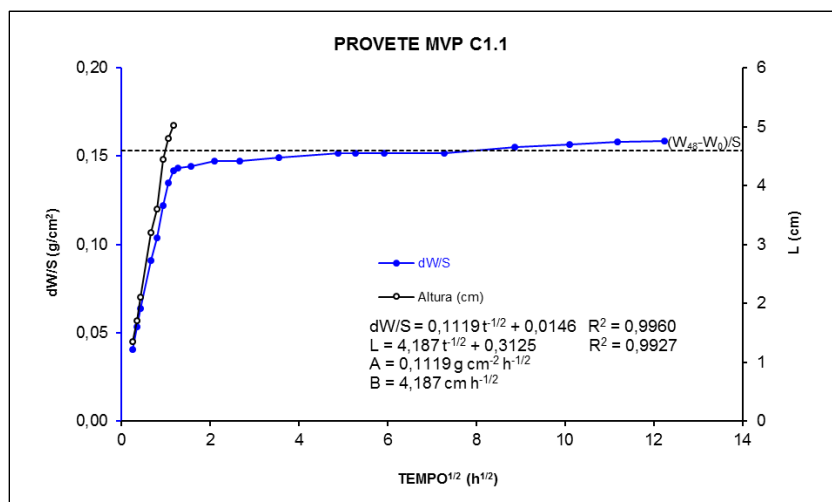


Figura 5.12: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do provete MVP C1.1

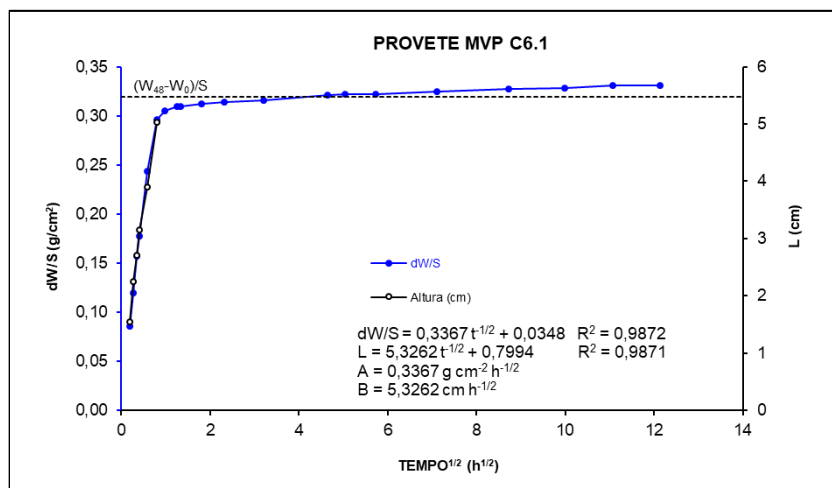


Figura 5.13: Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do provete MVP C6.1

No tarolo MVP C1, o coeficiente de capilaridade é superior nas extremidades (provetes MVP C1.1 e MVP C1.5), estando o valor inferior no centro do tarolo (provete MVP C1.3).

Nos restantes tarolos, MVP C2, MVP C6 e MVP C7, o coeficiente de capilaridade A aumenta com a profundidade.

O coeficiente de capilaridade B traduz a ascensão da franja capilar por unidade de raiz quadrada do tempo. Encontra-se compreendido entre os valores $1,7803 \text{ cm.h}^{-1/2}$ e $2,9870 \text{ cm.h}^{-1/2}$ nos provetes MVP C2.1, MVP C2.2, MVP C2.3, MVP C3.1, MVP C3.2, MVP C3.3, MVP C4.1, MVP C4.2, MVP C4.3, MVP C5.1, MVP C7.1 e MVP C7.2, entre $3,8586 \text{ cm.h}^{-1/2}$ e $4,7790 \text{ cm.h}^{-1/2}$ nos provetes MVP C1.1, MVP C1.2, MVP C1.3 e MVP C1.4, e, entre $5,0395 \text{ cm.h}^{-1/2}$ e $6,6379 \text{ cm.h}^{-1/2}$ para os provetes MVP C1.5, MVP C5.2, MVP C5.3, MVP C6.1, MVP C6.2 e MVP C6.3.

Os valores do coeficiente de capilaridade B não têm variações significativas ao longo do comprimento de todos os tarolos à exceção de MVP C1 e MVP C5.

Os tarolos MVP C3 e MVP C5, ambos com as duas faces expostas, têm comportamentos antónimos ao longo do seu comprimento. Em MVP C3, o valor do coeficiente de capilaridade B é mínimo no provete central, enquanto que no tarolo MVP C5, o valor do coeficiente B aumenta desde o provete superficial MVP C5.1 ao provete superficial MVP C5.3.

Nos restantes 5 tarolos, só com uma face exposta, o coeficiente B tem tendência a aumentar em profundidade no tarolo MVP C1, aumenta com a profundidade no tarolo MVP C7, tem valor mínimo no provete central do tarolo MVP C2 e, por oposição, tem valor máximo no provete central dos tarolos MVP C4 e MVP C6.

Verifica-se que o instante em que a franja capilar atinge o topo dos provetes coincide, aproximadamente, com o instante em que termina a embebição da rede porosa livremente acessível à água por capilaridade, visível pela variação de declive da curva de absorção de água. Quando a franja capilar atinge o topo dos provetes, o volume de água que penetrou na rede porosa por unidade de superfície corresponde sensivelmente à embebição obtida no ensaio de determinação da porosidade livre às 48 horas, correspondente ao valor $(W_{48}-W_0)/S$, visível nos gráficos das Figuras 5.12 e 5.13.

A Tabela 5.11 apresenta os valores limite do coeficiente de capilaridade A em perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos de Portugal onde foi usado granito.

Tabela 5.11: Valores limite do coeficiente de capilaridade A em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	A ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (2,27 % $\leq N_{48} \leq 7,03$ %)	0,0350 – 0,4342
Granito de Braga muito meteorizado (5,63 % $\leq N_{48} \leq 7,19$ %) (Alves, 1997)	0,138 – 0,222
Granito de Gondizalves mediana a muito meteorizado (2,32 % $\leq N_{48} \leq 7,31$ %) (Alves, 1997)	0,060 – 0,28
Granito do Porto não meteorizado (0,63 % $\leq N_{48} \leq 1,00$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,0074 – 0,0100
Granito do Porto meteorizado (2,12 % $\leq N_{48} \leq 3,96$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,0565 – 0,1350
Granito do Porto meteorizado (4,04 % $\leq N_{48} \leq 6,26$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,119 – 0,270
Granito do Porto muito meteorizado (8,31 % $\leq N_{48} \leq 10,77$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,464 – 0,546
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (1,53 % $\leq N_{48} \leq 1,78$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,0318 – 0,0602
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (2,71 % $\leq N_{48} \leq 3,00$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,0701 – 0,0861
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (3,38 % $\leq N_{48} \leq 4,48$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,092 – 0,128
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (5,27 % $\leq N_{48} \leq 7,46$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,148 – 0,252
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (3,96 % $\leq N_{48} \leq 4,29$ %) (Begonha, 1997, 2001)	0,093 – 0,121
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (4,61 % $\leq N_{48} \leq 4,88$ %) (Begonha, 2000)	0,1582 – 0,1810
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (5,68 % $\leq N_{48} \leq 7,09$ %) (Begonha, 2000)	0,1919 – 0,2822

Tabela 5.11: Valores limite do coeficiente de capilaridade A em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	A ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$)
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($7,36 \% \leq N_{48} \leq 8,53 \%$) (Begonha, 2000)	0,3504 – 0,5248
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado ($6,83 \% \leq N_{48} \leq 8,58 \%$) (Begonha, 2002)	0,0891 – 0,2500
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos ($2,99 \% \leq N_{48} \leq 4,00 \%$) (Begonha, 2003a)	0,0727 – 0,1231
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 2,31 \%$) (Begonha, 2003a)	0,0475 – 0,0663
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular intermédia ($2,75 \% \leq N_{48} \leq 3,58 \%$) (Begonha, 2003a)	0,0992 – 0,1503
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado ($4,77 \% \leq N_{48} \leq 5,88 \%$) (Begonha, 2003b)	0,1745 – 0,2914
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado ($6,08 \% \leq N_{48} \leq 7,26 \%$) (Begonha, 2003b)	0,2376 – 0,3622
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado ($4,16 \% \leq N_{48} \leq 5,87 \%$) (Begonha, 2003b)	0,0793 – 0,3023
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado ($6,09 \% \leq N_{48} \leq 7,68 \%$) (Begonha, 2003b)	0,2241 – 0,3933
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado ($3,02 \% \leq N_{48} \leq 4,19 \%$) (Begonha, 2004 e Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	0,0837 – 0,2029
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,00 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	0,0988 – 0,1527
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,85 \% \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	0,2451 – 0,3949
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($7,08 \% \leq N_{48} \leq 10,30 \%$) (Fojo, 2006)	0,4949 – 0,8590
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,04 \% \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	0,1783 – 0,2390
Sé Catedral de Évora – Granito de duas micas meteorizado, afetado por desagregação granular ($5,8 \pm 0,2 \% \leq N_{48} \leq 6,9 \pm 0,3 \%$) (Costa, 2007)	0,4497 \pm 0,0392
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,0481 – 0,0584
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,2053 – 0,3250
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	0,0684 – 0,0807
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) ($4,42 \% \leq N_{48} \leq 5,26 \%$) (Bré, 2008)	0,2180 – 0,2519
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1, 2, 3 e 5 ($1,92 \% \leq N_{48} \leq 2,63 \%$) (Resende, 2010)	0,0435 – 0,0716
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 ($3,72 \% \leq N_{48} \leq 3,91 \%$) (Resende, 2010)	0,2125 – 0,2449

Tabela 5.11: Valores limite do coeficiente de capilaridade A em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	A ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$)
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	0,0776 – 0,0880
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	0,0811 – 0,0872

O valor do coeficiente de capilaridade A nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendida entre $0,0350 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$ e $0,4342 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$. Estes valores, quando comparados com os obtidos por Begonha (1997, 2001) para granito do Porto não meteorizado ($0,0074 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2} \leq A \leq 0,0100 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$), provam que o granito já se encontrava meteorizado/deteriorado.

Comparando os valores obtidos para o caso de estudo com os obtidos para edifícios e monumentos onde foi empregue granito do Porto, apresentados na Tabela 5.11 e Figura 5.14, verifica-se que o intervalo de valores é semelhante ($0,0318 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2} \leq A \leq 0,546 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$).

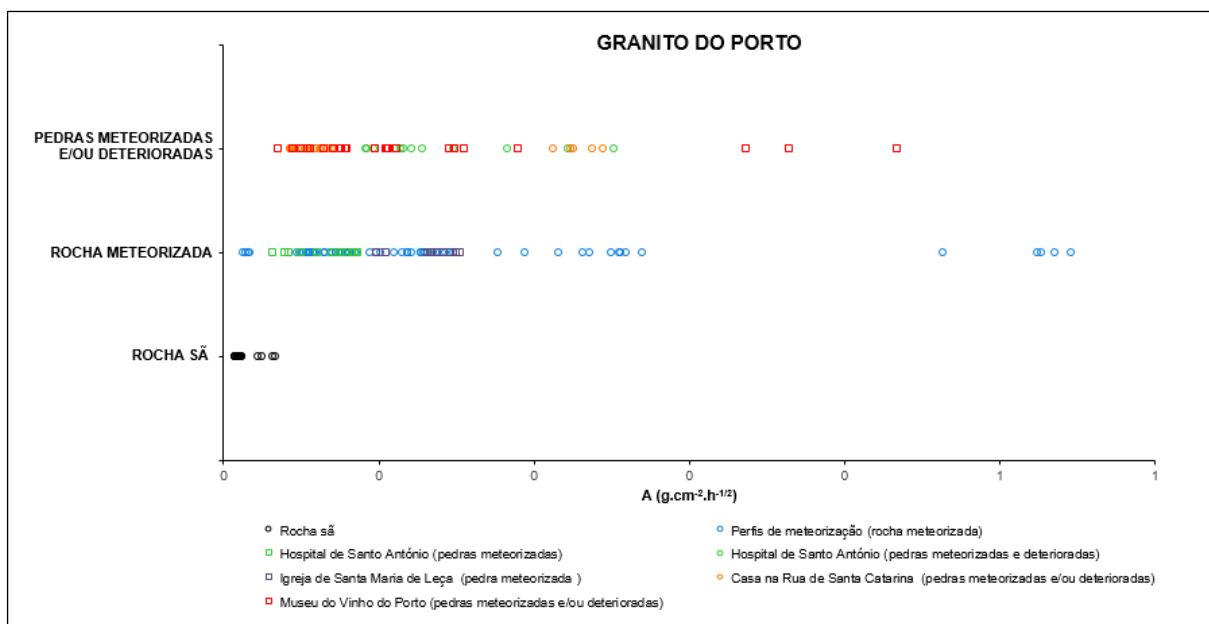


Figura 5.14: Granito do Porto – Valores do coeficiente de capilaridade A obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

Quando os valores obtidos para os provetes do Museu do Vinho do Porto são comparados com os dos restantes edifícios e monumentos onde foi aplicado outro tipo de granito, a mesma conclusão pode ser tecida, contudo, neste caso, o valor superior do intervalo aumenta ($0,0475 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2} \leq A \leq 0,8590 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$).

A Figura 5.15 mostra a correlação polinomial positiva obtida entre N_{48} e A ($A=0,0089\times N_{48}^2-0,0097\times N_{48}+0,0375$), para os resultados obtidos a partir das pedras empregues no Museu do Vinho do Porto, onde se observa um coeficiente de correlação elevado ($R^2 = 0,9264$ com $N=22$).

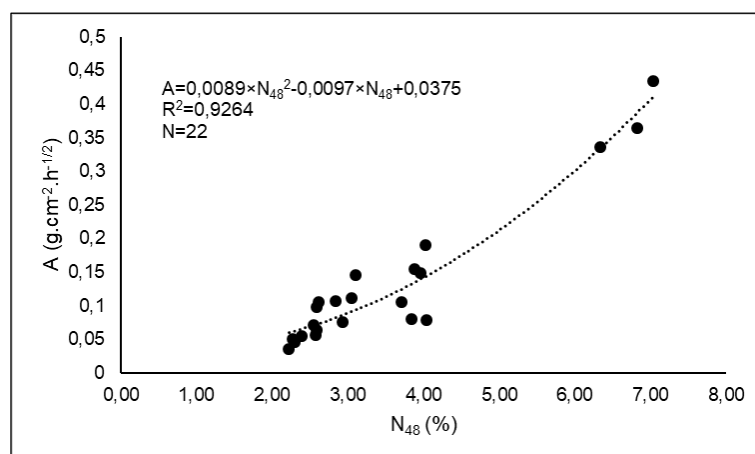


Figura 5.15: Correlação polinomial positiva obtida entre A e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

Observando a Tabela 5.12, as correlações calculadas variam entre correlações potenciais, polinomiais de segundo grau e linear, esta última associada ao caso em estudo. Todos os coeficientes de correlação são elevados.

Tabela 5.12: Correlações entre N_{48} e A em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto

Casos de estudo	Correlação A (N_{48})	Coeficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$A=0,0089 \times N_{48}^2 - 0,0097 \times N_{48} + 0,0375$	0,9264	22
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$A=0,0164 \times N_{48}^{1,5192}$	0,9041	167
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e casa na Rua de Santa Catarina) (Silva, 2012)	$A=0,0165 \times N_{48}^{1,5055}$	0,9098	145
Granito do Porto – Perfis de meteorização (Silva, 2012)	$A=0,0038 \times N_{48}^2 + 0,0205 \times N_{48} - 0,0098$	0,9642	85
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António) (Begonha, 1997, 2001)	$A=0,01639 \times N_{48}^{1,4676}$	0,9270	109
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Silva, 2012)	$A=0,0253 \times N_{48}^{1,0818}$	0,9467	24
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	$A=-0,2589 \times N_{48}^2 + 1,8468 \times N_{48} - 3,1451$	0,8347	11
Casa na rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$A=0,0496 \times N_{48}^2 - 0,1845 \times N_{48} + 0,2156$	0,9932	25

A Figura 5.16 projeta os valores de A e N_{48} de 167 provetes de granito do Porto estudados. O valor de A aumenta potencialmente com N_{48} , tendo-se obtido uma correlação potencial positiva ($A = 0,0164 \times N_{48}^{1,5192}$) com elevado coeficiente de correlação ($R^2 = 0,9041$ e $N = 167$).

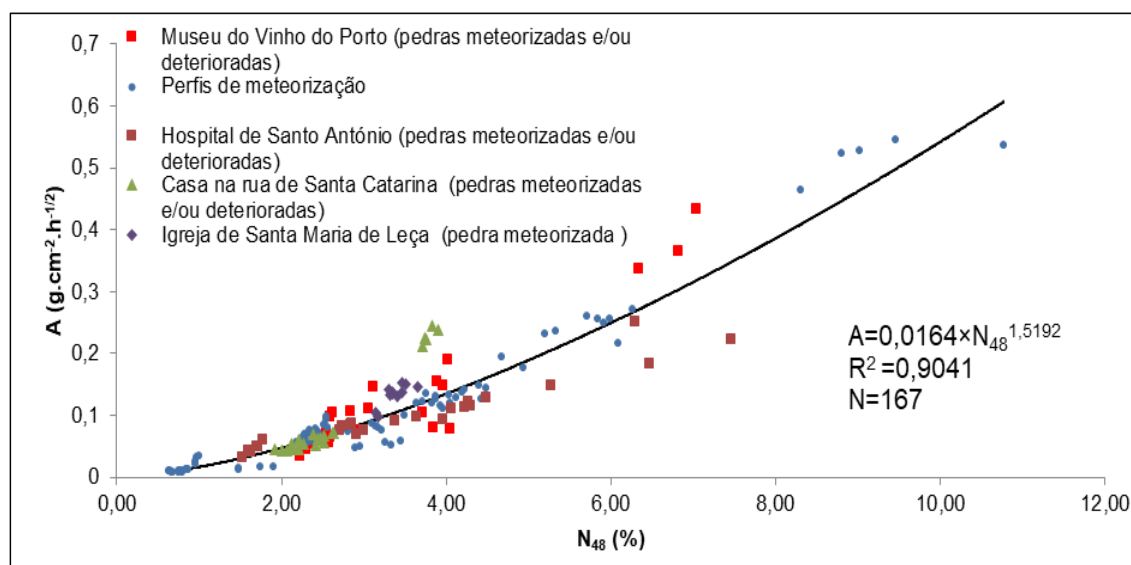


Figura 5.16: Correlação potencial obtida entre A e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos de granito do Porto

Note-se que os números de famílias obtidos no porosímetro de mercúrio e os números de famílias obtidos no ensaio da absorção de água de capilaridade diferem. Este comportamento, como referido em 3.2.6., não é anormal.

A Tabela 5.13 apresenta os valores limite do coeficiente de capilaridade B em perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos de Portugal onde foi usado granito.

Tabela 5.13: Valores limite do coeficiente de capilaridade B em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	B (cm×h ^{-1/2})
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (2,27 % ≤ N_{48} ≤ 7,03 %)	1,7803 – 6,6379
Granito de Braga muito meteorizado (5,63 % ≤ N_{48} ≤ 7,19 %) (Alves, 1997)	2,7 – 3,5
Granito de Gondizalves mediana a muito meteorizado (2,32 % ≤ N_{48} ≤ 7,31 %) (Alves, 1997)	2,8 – 5,1
Granito do Porto não meteorizado (0,63 % ≤ N_{48} ≤ 1,00 %) (Begonha, 1997, 2001)	0,797 – 1,988
Granito do Porto meteorizado (2,12 % ≤ N_{48} ≤ 3,96 %) (Begonha, 1997, 2001)	2,588 – 4,659
Granito do Porto meteorizado (4,04 % ≤ N_{48} ≤ 6,26 %) (Begonha, 1997, 2001)	3,120 – 5,265
Granito do Porto muito meteorizado (8,31 % ≤ N_{48} ≤ 10,77 %) (Begonha, 1997, 2001)	6,179 – 7,083
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (1,53 % ≤ N_{48} ≤ 1,78 %) (Begonha, 1997, 2001)	2,361 – 4,024
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (2,71 % ≤ N_{48} ≤ 3,00 %) (Begonha, 1997, 2001)	2,639 – 3,746
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (3,38 % ≤ N_{48} ≤ 4,48 %) (Begonha, 1997, 2001)	2,818 – 3,062

Tabela 5.13: Valores limite do coeficiente de capilaridade B em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	B (cm×h ^{-1/2})
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (5,27 % ≤ N ₄₈ ≤ 7,46 %) (Begonha, 1997, 2001)	3,010 – 4,889
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (3,96 % ≤ N ₄₈ ≤ 4,29 %) (Begonha, 1997, 2001)	2,448 – 3,106
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (4,61 % ≤ N ₄₈ ≤ 4,88 %) (Begonha, 2000)	3,998 – 4,522
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (5,68 % ≤ N ₄₈ ≤ 7,09 %) (Begonha, 2000)	3,448 – 4,607
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado (7,36 % ≤ N ₄₈ ≤ 8,53 %) (Begonha, 2000)	5,149 – 7,123
Igreja de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã muito meteorizado (6,83 % ≤ N ₄₈ ≤ 8,58 %) (Begonha, 2002)	1,5710 – 3,5111
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade forte e alvéolos (2,99 % ≤ N ₄₈ ≤ 4,00 %) (Begonha, 2003a)	2,7472 – 3,5821
Igreja Matriz de Espinho – Granito porfiroide de grão grosseiro com desagregação granular de intensidade intermédia (2,12 % ≤ N ₄₈ ≤ 2,31 %) (Begonha, 2003a)	2,1367 – 3,0758
Igreja Matriz de Espinho – Granito de grão médio orientado afetado por desagregação granular de intensidade forte com alvéolos ou desagregação granular intermédia (2,75 % ≤ N ₄₈ ≤ 3,58 %) (Begonha, 2003a)	3,7472 – 4,6574
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio meteorizado (4,77 % ≤ N ₄₈ ≤ 5,88 %) (Begonha, 2003b)	3,9614 – 6,4640
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão fino a médio muito meteorizado (6,08 % ≤ N ₄₈ ≤ 7,26 %) (Begonha, 2003b)	4,2622 – 6,7697
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro meteorizado (4,16 % ≤ N ₄₈ ≤ 5,87 %) (Begonha, 2003b)	2,4805 – 7,1991
Igreja de São Pedro de Rates – Granito de grão médio a grosseiro muito meteorizado (6,09 % ≤ N ₄₈ ≤ 7,68 %) (Begonha, 2003b)	4,7261 – 7,0000
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino de duas micas meteorizado (3,02 % ≤ N ₄₈ ≤ 4,19 %) (Begonha, 2004, Malheiro <i>et al.</i> , 2004)	3,1357 – 5,6552
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (3,00 % ≤ N ₄₈ ≤ 3,66 %) (Moutinho, 2005)	3,9793 – 6,1742
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (4,85 % ≤ N ₄₈ ≤ 6,19 %) (Fojo, 2006)	5,6148 – 7,1451
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (7,08 % ≤ N ₄₈ ≤ 10,30 %) (Fojo, 2006)	7,9767 – 9,6345
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular (4,04 % ≤ N ₄₈ ≤ 4,48 %) (Fojo, 2006)	5,1410 – 6,6003
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado (2,26 % ≤ N ₄₈ ≤ 2,49 %) (Costa Leite, 2008)	2,4152 – 2,7603
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado (5,87 % ≤ N ₄₈ ≤ 6,81 %) (Costa Leite, 2008)	4,3614 – 6,1254
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara (2,58 % ≤ N ₄₈ ≤ 2,82 %) (Costa Leite, 2008)	2,7125 – 3,3916

Tabela 5.13: Valores limite do coeficiente de capilaridade B em perfis de meteorização e pedras de granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	B ($\text{cm}\times\text{h}^{-1/2}$)
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide, de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) ($4,42 \% \leq N_{48} \leq 5,26 \%$) (Bré, 2008)	4,5040 – 5,9952
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 ($1,92 \% \leq N_{48} \leq 2,63 \%$) (Resende, 2010)	2,2496 – 3,2319
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 ($3,72 \% \leq N_{48} \leq 3,91 \%$) (Resende, 2010)	6,4492 – 6,9285
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	3,5408 – 3,8547
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13\% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	2,3318 – 2,6937

O coeficiente de capilaridade B nos provetes do Museu do Vinho do Porto varia entre $1,7803 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2}$ e $6,6379 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2}$, valores muito elevados quando comparados com os obtidos para granito do Porto não meteorizado ($0,797 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2} \leq B \leq 1,988 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2}$). Pode-se assim concluir, uma vez mais, que o granito já se encontrava meteorizado aquando da construção do edifício.

Analisando a Tabela 5.13 e Figura 5.17, verifica-se que os valores obtidos para o caso de estudo ($1,7803 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2} \leq B \leq 6,6379 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2}$) são semelhantes aos alcançados para perfis de meteorização e pedras de edifícios e monumentos onde foi empregue granito do Porto ($2,2496 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2} \leq B \leq 7,083 \text{ cm}\times\text{h}^{-1/2}$).

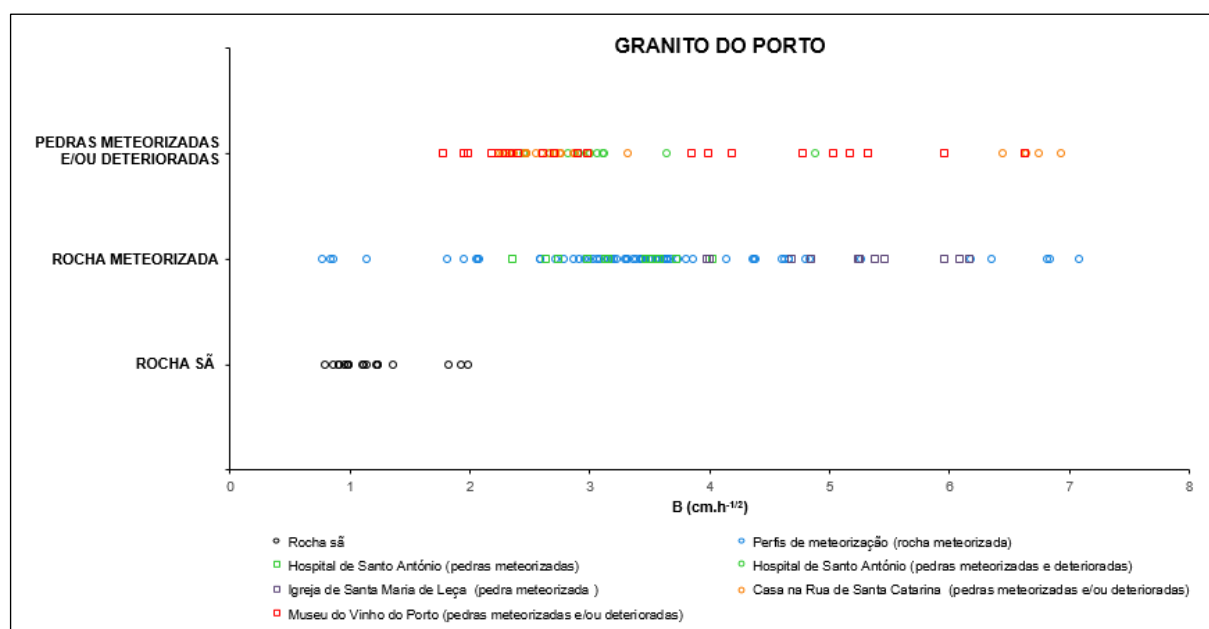


Figura 5.17: Granito do Porto – Valores do coeficiente de capilaridade B obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

A conclusão anterior pode ser extrapolada para os valores determinados em pedras dos restantes monumentos e edifícios onde foram aplicados outros tipos de granito ($1,5710 \text{ cm} \times h^{-1/2} \leq B \leq 9,6345 \text{ cm} \times h^{-1/2}$).

A Figura 5.18 mostra a correlação polinomial positiva obtida entre N_{48} e B ($B = 0,0481 \times N_{48}^2 + 0,2646 \times N_{48} + 1,9462$), para os resultados obtidos a partir das pedras empregues no Museu do Vinho do Porto, observando-se elevada dispersão de valores, traduzida pelo baixo coeficiente de correlação ($R^2 = 0,4612$ com $N = 22$).

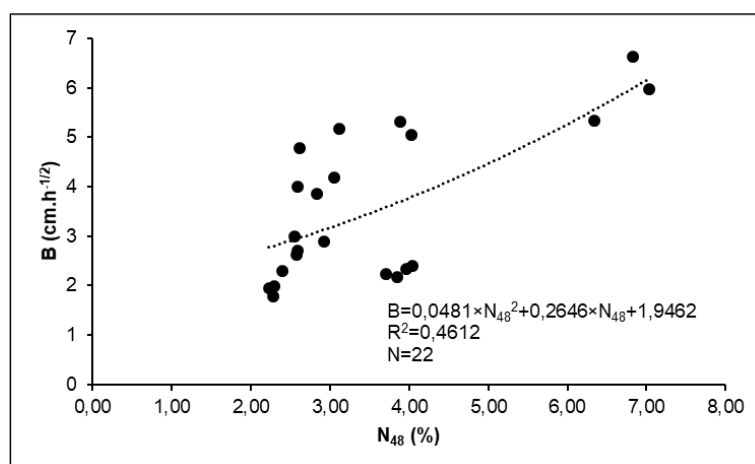


Figura 5.18: Correlação polinomial positiva obtida entre B e N_{48} no granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

A Tabela 5.14 apresenta as correlações obtidas no presente trabalho e por diversos autores em perfis de meteorização e em pedras de edifícios e monumentos onde foi utilizado granito do Porto.

A Figura 5.19 mostra a correlação potencial positiva entre N_{48} e B para o granito do Porto empregue em monumentos e edifícios, incluindo os resultados obtidos no Museu do Vinho do Porto.

Os coeficientes de correlação são baixos, à exceção do determinado por Resende (2010) em pedras da casa na Rua de Santa Catarina. Porém, a introdução dos 22 resultados alcançados no Museu do Vinho do Porto diminuiu um pouco o coeficiente de correlação de $R^2 = 0,6249$ com $N = 145$, calculado por Silva (2012), para $R^2 = 0,6051$ com $N = 167$.

De notar, e tal como acontece com o coeficiente de capilaridade A , o coeficiente de capilaridade B aumenta potencialmente com a porosidade livre às 48 horas ($B = 1,4979 \times N_{48}^{0,6741}$), para o conjunto dos perfis de meteorização e das pedras aplicadas no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na Rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto.

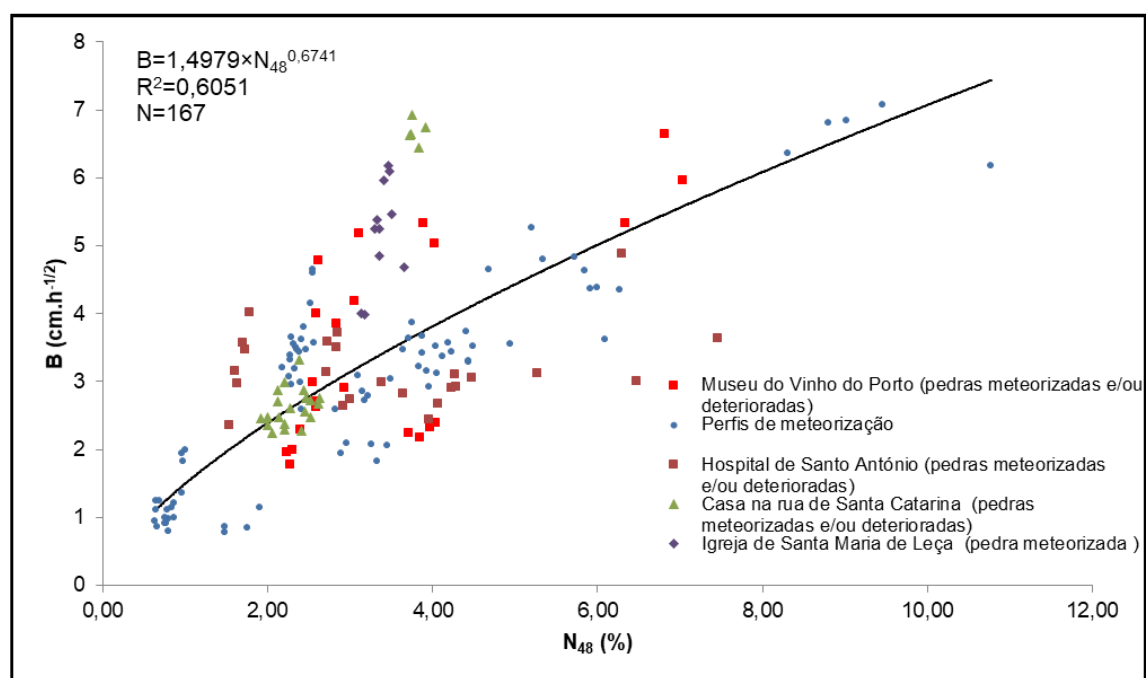
Por último, obteve-se a correlação logarítmica $B = 1,9129 \times \ln(A) + 7,9084$ entre os coeficientes de capilaridade A e B para o caso em estudo (Figura 5.20) com um coeficiente de correlação razoável ($R^2 = 0,7469$ com $N = 22$).

A Tabela 5.15 exhibe as correlações obtidas para perfis de meteorização e pedras empregues em edifícios e monumentos de granito do Porto.

Os coeficientes de correlação linear são razoáveis, à exceção dos calculados para o Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001) e para a Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro (Moutinho, 2005) (coeficientes baixos) e do elevado coeficiente obtido na casa da Rua de Santa Catarina (Resende, 2010).

Tabela 5.14: Correlações entre N_{48} e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto

Casos de estudo	Correlação B (N_{48})	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$B=0,0481 \times N_{48}^2 + 0,2646 N_{48} + 1,9462$	0,4612	22
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$B=1,4979 \times N_{48}^{0,6741}$	0,6051	167
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e casa na rua de Santa Catarina) (Silva, 2012)	$B=1,5037 \times N_{48}^{0,6732}$	0,6249	145
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António) (Begonha, 1997, 2001)	$B=1,4623 \times N_{48}^{0,6330}$	0,6756	109
Granito do Porto – Perfis de meteorização (Begonha, 1997, 2001)	$B=-0,0230 \times N_{48}^2 + 0,8133 N_{48} + 0,7588$	0,7624	85
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Silva, 2012)	$B=0,0655 \times N_{48}^2 - 0,4784 \times N_{48} + 3,8898$	0,1642	24
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	$B=-20,349 \times N_{48}^2 - 140,5 \times N_{48} - 236,78$	0,8142	11
Casa na Rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$B=1,3817 \times N_{48}^2 - 5,6891 \times N_{48} - 8,348$	0,9674	25

Figura 5.19: Correlação potencial positiva entre N_{48} e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto

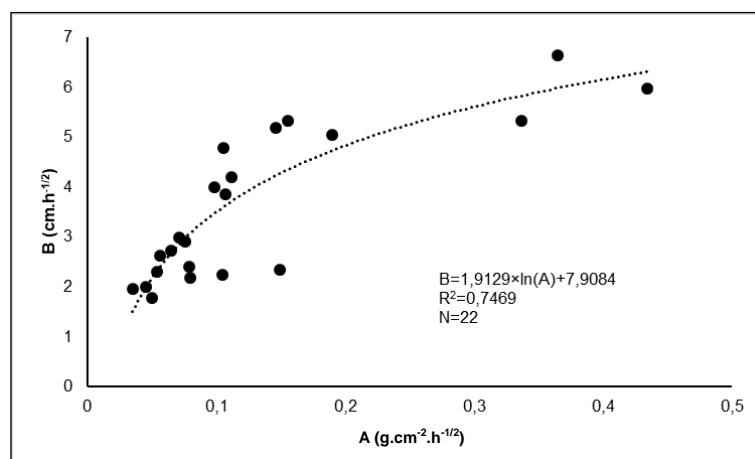


Figura 5.20: Correlação logarítmica positiva obtida entre os coeficientes de capilaridade A e B para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

Tabela 5.15: Correlações entre os coeficientes de capilaridade A e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto

Casos de estudo	Correlação B (A)	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$B = -23,406 \times A^2 + 29,747 \times A + 1,0649$	0,7516	22
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$B = 10,584 \times A^{0,4945}$	0,8312	167
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e casa na rua de Santa Catarina) (Silva, 2012)	$B = 10,694 \times A^{0,4957}$	0,8438	145
Granito do Porto (perfis de meteorização, Hospital de Santo António) (Begonha, 1997,2001)	$B = 9,4958 \times A^{0,4680}$	0,8582	109
Granito do Porto – Perfis de meteorização (Silva, 2012)	$B = 9,9335 \times A^{0,4875}$	0,904	85
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Begonha, 1997,2001)	$B = 65,388 \times A^2 - 13,363 \times A + 3,6775$	0,3825	24
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	$B = 27,7 \times A^{0,8336}$	0,586	11
Casa na rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$B = -23,406 \times A^2 + 29,747 \times A + 1,0649$	0,9796	25

A Figura 5.21 mostra a correlação potencial positiva ($B = 10,584 \times A^{0,4945}$ com $R^2 = 0,8312$ e $N = 167$) calculada entre os coeficientes de capilaridade A e B para o conjunto dos perfis de meteorização e das pedras aplicadas no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça, casa na Rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto.

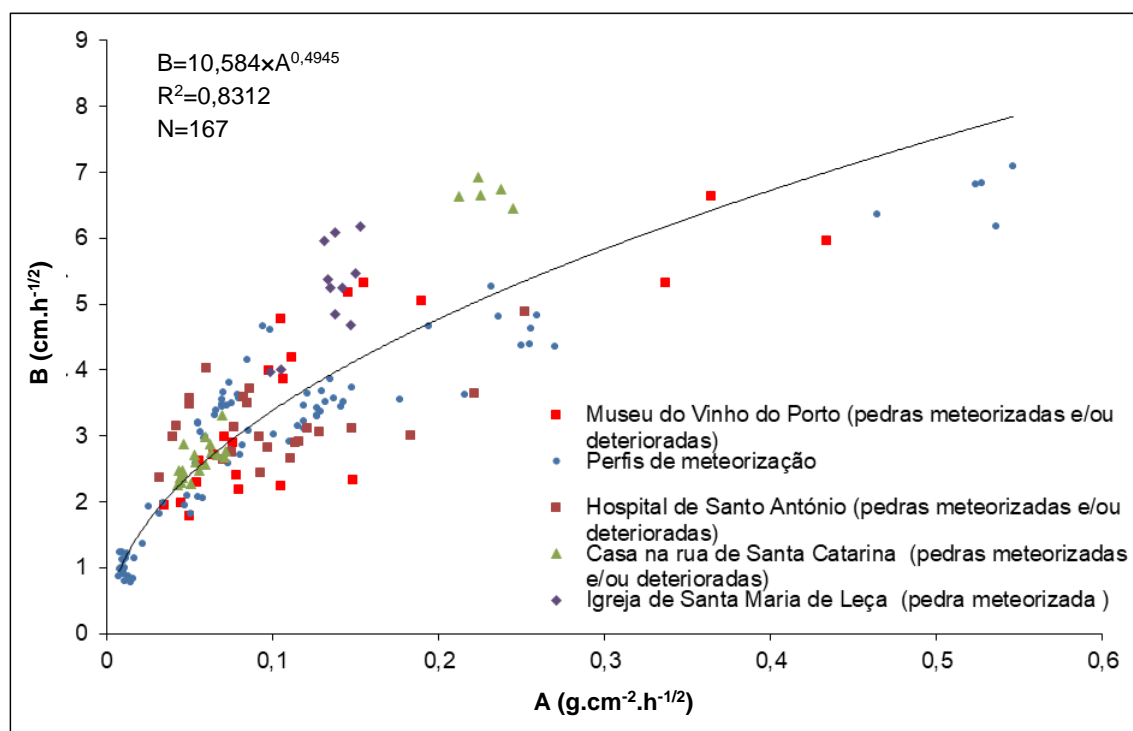


Figura 5.21: Correlação potencial positiva obtida entre A e B em perfis de meteorização e pedras de monumentos e edifícios de granito do Porto

5.6. EVAPORAÇÃO

Na Tabela 5.16, são apresentados os valores dos vários parâmetros associados ao ensaio de evaporação, nomeadamente, o fluxo de evaporação do vapor de água (q), a saturação crítica (S_c) e o instante em que ocorre a saturação crítica (t_{sc}).

Tabela 5.16: Resultados do ensaio de evaporação

Tarolo	Provete	q (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	S_c (%)	t_{sc} (h)
MVP C1	MVP C1.2	-0,0020	46	30,28
	MVP C1.3	-0,0020	48	26,20
	MVP C1.5	-0,0015	54	37,27
MVP C2	MVP C2.1	-0,0013	63	53,23
	MVP C2.2	-0,0011	67	53,18
	MVP C2.3	-0,0015	45	37,13
MVP C3	MVP C3.1	-0,0014	83	11,28
MVP C4	MVP C4.2	-0,0019	47	30,00
MVP C5	MVP C5.1	-0,0014	72	37,05
MVP C6	MVP C6.2	-0,0019	24	127,43

No Anexo A3, apresentam-se os resultados e os gráficos obtidos no ensaio de evaporação em cada um dos 10 provetes cilíndricos ensaiados.

Nas Figuras 5.22 a 5.24 exibem-se os gráficos correspondentes aos provetes MVP C3.1, MVP C1.3 e MVP C6.2. Denota-se que a curva de perda de peso por unidade de superfície (dW/S) em função do tempo (t) se divide em três segmentos: um primeiro segmento de reta de forte declive correspondente a um período no qual o fluxo de evaporação do vapor de água (q) é constante; um segundo segmento intermédio curvo em que há diminuição progressiva do valor do fluxo de evaporação; um terceiro segmento retilíneo com fluxo de evaporação constante, mas de declive muito inferior ao do primeiro.

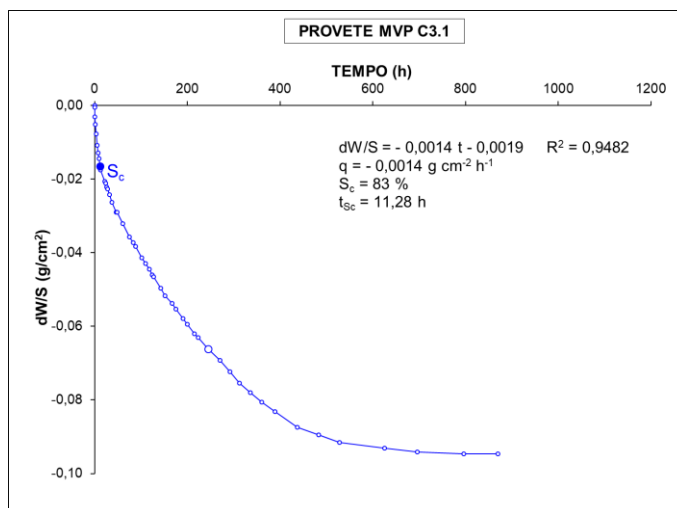


Figura 5.22: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C3.1

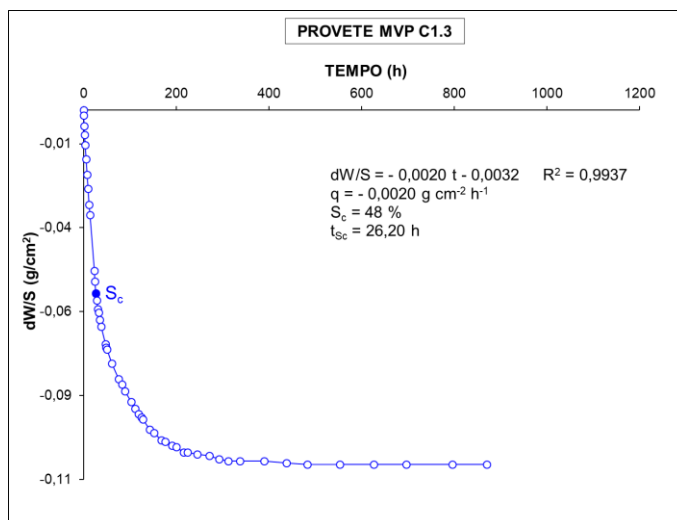


Figura 5.23: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C1.3

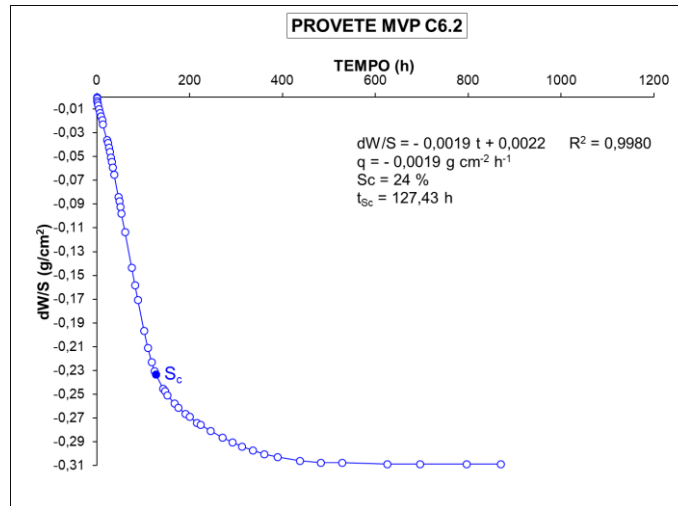


Figura 5.24: Resultados do ensaio de evaporação do provete MVP C6.2

Verifica-se que os valores do fluxo de evaporação são elevados e não sofrem grandes oscilações, variando entre $-0,0011 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $-0,0020 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Nos provetes MVP C1.2, MVP C1.3, MVP C4.2 e MVP C6.2, o fluxo de evaporação q varia entre $-0,0019 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $-0,0020 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Nos restantes seis provetes, o fluxo de evaporação q varia entre $-0,0011 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $-0,0015 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Os valores da saturação crítica nos provetes MVP C2.1, MVP C2.2, MVP C3.1 e MVP C5.1 são nitidamente superiores a 50 %, estando compreendidos entre 63 % no provete MVP C2.1 e 83 % no provete MVP C3.1. Nestes quatro provetes, cerca de 2/3 ou mais do volume de água que embebia a pedra evaporou no interior da rede porosa da mesma, pelo que o risco de cristalização dos minerais de sais solúveis no interior do granito do Porto é elevado (Figura 5.22).

Os valores da saturação crítica nos provetes MVP C1.2, MVP C1.3, MVP C1.5, MVP C2.3 e MVP C4.2 situam-se próximo dos 50 %, estando compreendidos entre 45 % no provete MVP C2.3 e 54 % no provete MVP C1.5. Nestes cinco provetes, cerca de metade do volume de água que embebia a pedra, evaporou no interior da rede porosa da mesma, pelo que o risco de cristalização dos minerais de sais solúveis no interior do granito do Porto é ainda elevado (Figura 5.23).

O valor da saturação crítica no provete MVP C6.2 é baixo. Efetivamente, apenas 24 % do volume de água que embebia a pedra evaporou no interior da rede porosa do granito do Porto (Figura 5.24).

No que concerne ao tempo em que a saturação crítica é atingida, t_{sc} , o provete MVP C3.1 apresenta o valor mínimo de 11,28 h e, por oposição, o provete MVP C6.2 o valor máximo de 127,43 h.

Os restantes oito provetes apresentam tempos de saturação crítica intermédios, variando entre 26,20 h em MVP C1.3 e 53,23 h em MVP C2.1.

Os resultados obtidos no provete MVP C6.2 de $S_c = 24 \%$, $t_{sc} = 127,43 \text{ h}$ e $q = -0,0019 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ comprovam que a rede porosa do mesmo é muito bem interligada, apesar de ser o provete ensaiado à evaporação com maior porosidade ($N_{48} = 6,82 \%$) e, consequentemente, o que absorveu maior volume de água. De facto, 76 % da mesma existente na rede porosa do granito acedeu facilmente e evaporou à superfície do provete, incluindo a que se encontrava mais afastada da superfície do mesmo.

Atendendo unicamente aos resultados do ensaio de evaporação ($S_e = 83 \%$, $t_{sc} = 11,28 \text{ h}$ e $q = -0,0014 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$), o provete MVP C3.1 aparentemente não parece ter uma rede porosa tão bem interligada como a do provete MVP C6.2. Apesar de a porosidade ser a menor dos provetes ensaiados à evaporação ($N_{48} = 2,30 \%$) e, consequentemente, o que absorveu menor volume de água, 83 % da mesma evaporou no interior do granito do Porto, tendo apenas acedido e evaporado à superfície 17 % do volume de água.

Unicamente os tarolos MVP C1 e MVP C2 apresentam provetes em número suficiente para se poder analisar em profundidade. Não há um comportamento padrão entre os dois tarolos no que respeita ao fluxo de evaporação, à saturação crítica e ao tempo ao fim do qual é atingida a saturação crítica. Como referido anteriormente, o fluxo de evaporação não apresenta grandes variações ao longo dos dois tarolos, sendo, no entanto, superior no tarolo MVP C1. Quanto à saturação crítica, a mesma aumenta com a profundidade no tarolo MVP C1, sendo maior no provete central do tarolo MVP C2. Relativamente ao tempo de saturação crítica, o mesmo é menor no provete central do tarolo MVP C1, diminuindo com a profundidade no tarolo MVP C2.

Na Tabela 5.17, apresentam-se os valores obtidos para o fluxo de evaporação em pedras de monumentos e edifícios onde se usou granito.

Tabela 5.17: Valores limite de q em granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	$q \text{ (g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}\text{)}$
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,27 \leq N_{48} \leq 7,03 \%$)	-0,0011 – -0,0020
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($4,61 \leq N_{48} \leq 4,88 \%$) (Begonha, 2000)	-0,0008 – -0,0018
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado ($5,68 \leq N_{48} \leq 7,09 \%$) (Begonha, 2000)	-0,0011 – -0,0019
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado ($7,36 \leq N_{48} \leq 8,53 \%$) (Begonha, 2000)	-0,0004 – -0,0011
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($1,70 \leq N_{48} \leq 1,72 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	-0,0038 – -0,0041
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado ($2,73 \leq N_{48} \leq 2,84 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	-0,0049 – -0,0053
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas ($3,38 \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	-0,0039 – -0,0048
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas ($5,27 \leq N_{48} \leq 7,46 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	-0,0031 – -0,0043
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular ($3,96 \leq N_{48} \leq 4,29 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	-0,0026 – -0,0041
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado ($3,03 \leq N_{48} \leq 4,20 \%$) (Angélico <i>et al.</i> , 2005)	-0,0034 – -0,0039
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,85 \leq N_{48} \leq 6,19 \%$) (Fojo, 2006)	-0,0015 – -0,0023
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular ($7,08 \leq N_{48} \leq 10,30 \%$) (Fojo, 2006)	-0,0018 – -0,0030
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular ($4,04 \leq N_{48} \leq 4,48 \%$) (Fojo, 2006)	-0,0020 – -0,0032

Tabela 5.17: Valores limite de q em granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal (continuação)

Casos de estudo	q ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$)
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado ($2,26 \% \leq N_{48} \leq 2,49 \%$) (Costa Leite, 2008)	-0,0029 – -0,0036
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado ($5,87 \% \leq N_{48} \leq 6,81 \%$) (Costa Leite, 2008)	-0,0023 – -0,0033
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara ($2,58 \% \leq N_{48} \leq 2,82 \%$) (Costa Leite, 2008)	-0,0036 – -0,0048
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) ($4,42 \% \leq N_{48} \leq 5,26 \%$) (Bré, 2008)	-0,0024 – -0,0039
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 ($1,92 \% \leq N_{48} \leq 2,63 \%$) (Resende, 2010)	-0,0011 – -0,0018
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 ($3,72 \% \leq N_{48} \leq 3,91 \%$) (Resende, 2010)	-0,0008 – -0,0019
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado ($2,49 \% \leq N_{48} \leq 2,57 \%$) (Silva, 2012)	-0,0017 – -0,0021
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia ($3,13 \% \leq N_{48} \leq 3,30 \%$) (Silva, 2012)	-0,0018 – -0,0023

O fluxo de evaporação obtido nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendida entre $-0,0011 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$ e $-0,0020 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$.

Comparando os valores do fluxo de evaporação obtidos com os de pedras de granito do Porto empregues em monumentos e edifícios, verifica-se que há uma diferença de valores entre os obtidos por Resende (2010) ($-0,0008 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1} \leq q \leq -0,0019 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$) e os obtidos por Begonha (1997, 2001) ($-0,0026 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1} \leq q \leq -0,0053 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$). Assim, pode-se concluir que os valores do Museu do Vinho do Porto se enquadram melhor nos obtidos por Resende (2010) (Figura 5.25).

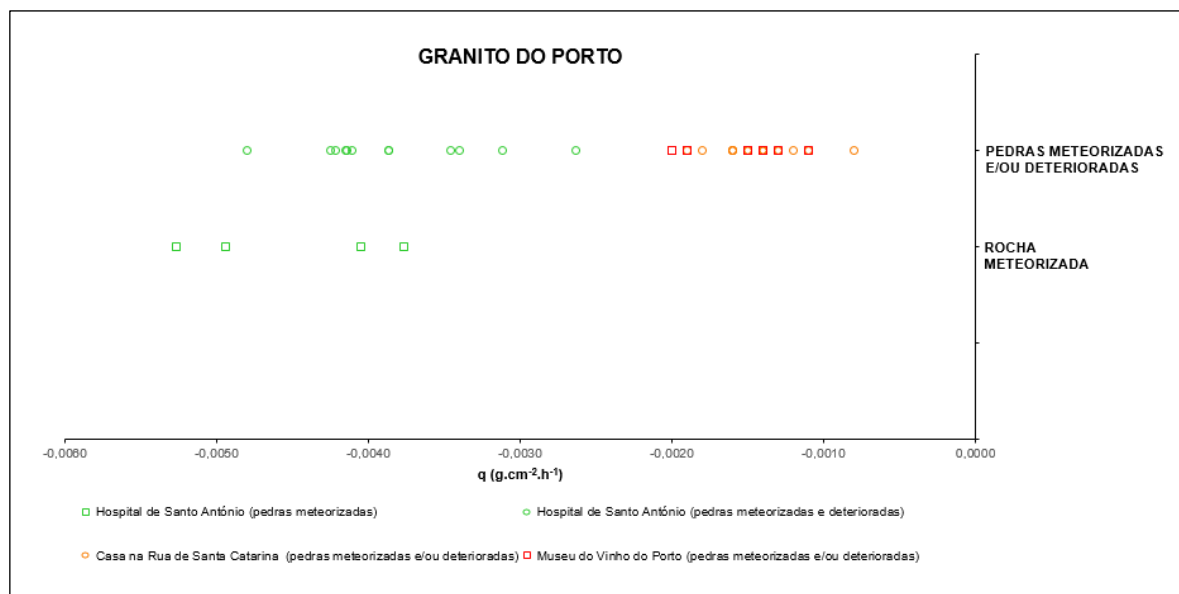


Figura 5.25: Granito do Porto – Valores do q obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

Quando se comparam os valores obtidos neste trabalho com os restantes referidos na Tabela 5.17, pode-se concluir que a gama de valores de q é bastante superior, variando entre $-0,0004 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$ e $-0,0048 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$.

A Figura 5.26 mostra a correlação logarítmica encontrada entre N_{48} e q ($q=0,0001\times\ln(N_{48})-0,0018$), para os resultados obtidos a partir das pedras empregues no granito do Porto, onde se observa um coeficiente de correlação muito baixo, $R^2 = 0,0179$.

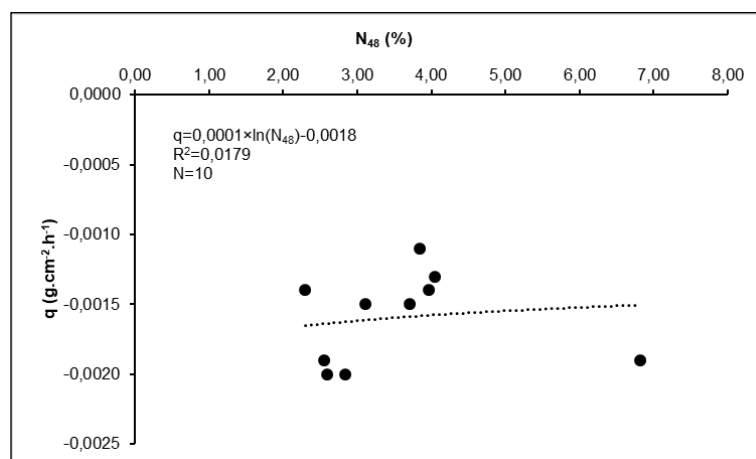


Figura 5.26: Correlação logarítmica obtida entre q e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

A Tabela 5.18 apresenta as correlações obtidas por diversos autores para os edifícios e monumentos onde se utilizou granito do Porto. Na Figura 5.27, projetaram-se os valores obtidos de q e N_{48} , bem como a correlação logarítmica determinada ($q=-0,0004\times N_{48}-0,001$) com coeficiente de correlação baixo ($R^2 = 0,1655$) para o conjunto de 51 provetes obtidos a partir de pedras de granito do Porto empregue no Hospital de Santo António, casa na Rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto.

Tabela 5.18: Correlações entre q e N_{48} em monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto

Casos de estudo	Correlação q (N_{48})	Coeficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$q=0,0001\times\ln(N_{48})-0,0018$	0,0179	10
Granito do Porto (Hospital de Santo António, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$q=-0,0004\times N_{48}-0,001$	0,1655	51
Granito do Porto meteorizado/deteriorado (Hospital de Santo António e casa na rua de Santa Catarina)	$q=3\times 10^{-5}\times N_{48}^2-0,0003\times N_{48}-0,002$	0,2566	41
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e deteriorado (Begonha, 1997,2001)	$q=-2\times 10^{-5}\times N_{48}^2+0,0003\times N_{48}-0,0047$	0,0411	16
Casa na rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$q=0,0003\times N_{48}^2-0,0017\times N_{48}+0,0009$	0,1348	25

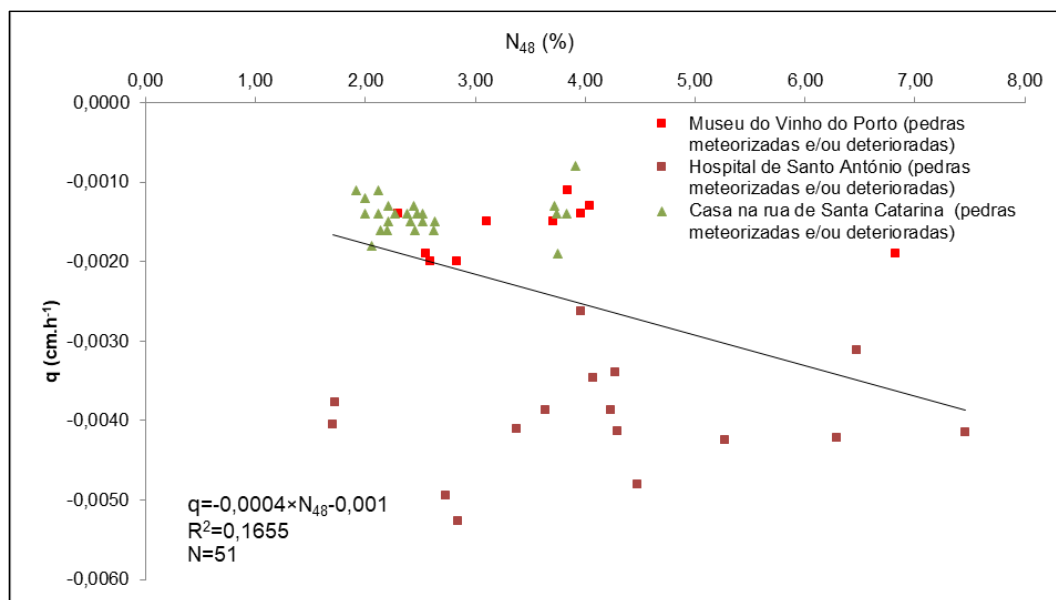


Figura 5.27: Correlação linear obtida entre q e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues em edifícios e monumentos

A Tabela 5.19 apresenta os valores de saturação crítica obtidos em monumentos e edifícios de Portugal, onde se utilizou granito.

A saturação crítica obtida nos provetes do Museu do Vinho do Porto apresenta uma gama de valores compreendida entre 24 % e 83 %, intervalo superior ao registado para o conjunto de outros monumentos e edifícios onde se utilizou granito do Porto ($45 \% \leq S_c \leq 71 \%$) (Figura 5.28).

O intervalo de valores de S_c obtido em edifícios e monumentos onde se utilizaram outros tipos de granito ($39 \% \leq S_c \leq 89 \%$) é semelhante ao obtido neste trabalho.

A correlação exponencial negativa obtida nos 10 provetes do Museu do Vinho do Porto entre a saturação crítica e a porosidade livre às 48 horas ($S_c = 95,307 \times e^{-0,168N_{48}}$) não é significativa, apresentando um baixo coeficiente de correlação ($R^2 = 0,4033$) (Figura 5.29).

A Tabela 5.20 apresenta as correlações obtidas entre S_c e N_{48} para vários monumentos e edifícios onde se utilizou o granito do Porto.

À exceção dos valores obtidos por Resende (2010), todos os coeficientes de correlação são baixos.

Na Figura 5.30, observa-se a projecção dos valores obtidos nos diferentes trabalhos. Os valores são muito dispersos de trabalho para trabalho e, consequentemente, o coeficiente de correlação do conjunto de monumentos e edifícios é baixo ($R^2 = 0,3170$ e $N = 51$).

Tabela 5.19: Valores limite da saturação crítica, S_c , em granitos empregues em edifícios e monumentos de Portugal

Casos de estudo	S_c (%)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (2,27 % $\leq N_{48} \leq 7,03$ %)	24 – 83
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (4,61 % $\leq N_{48} \leq 4,88$ %) (Begonha, 2000)	75 – 89
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (5,68 % $\leq N_{48} \leq 7,09$ %) (Begonha, 2000)	48 – 78
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado (7,36 % $\leq N_{48} \leq 8,53$ %) (Begonha, 2000)	61 – 83
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (1,70 % $\leq N_{48} \leq 1,72$ %) (Begonha, 2001)	59 – 61
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (2,73 % $\leq N_{48} \leq 2,84$ %) (Begonha, 2001)	58 – 59
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (3,38 % $\leq N_{48} \leq 4,48$ %) (Begonha, 2001)	59 – 69
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (5,27 % $\leq N_{48} \leq 7,46$ %) (Begonha, 2001)	45 – 62
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (3,96 % $\leq N_{48} \leq 4,29$ %) (Begonha, 2001)	60 – 71
Convento de São Gonçalo de Amarante – Granito de grão fino de duas micas meteorizado (3,03 % $\leq N_{48} \leq 4,20$ %) (Angélico <i>et al.</i> , 2005)	78 – 89
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (4,85 % $\leq N_{48} \leq 6,19$ %) (Fojo, 2006)	34 – 45
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (7,08 % $\leq N_{48} \leq 10,30$ %) (Fojo, 2006)	29 – 41
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular (4,04 % $\leq N_{48} \leq 4,48$ %) (Fojo, 2006)	36 – 55
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado (2,26 % $\leq N_{48} \leq 2,49$ %) (Costa Leite, 2008)	50 – 59
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado (5,87 % $\leq N_{48} \leq 6,81$ %) (Costa Leite, 2008)	32 – 49
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado, de cor cinzenta muito clara (2,58 % $\leq N_{48} \leq 2,82$ %) (Costa Leite, 2008)	67 – 75
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) (4,42 % $\leq N_{48} \leq 5,26$ %) (Bré, 2008)	70 – 83
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 (1,92 % $\leq N_{48} \leq 2,63$ %) (Resende, 2010)	61 – 71
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 (3,72 % $\leq N_{48} \leq 3,91$ %) (Resende, 2010)	32 – 39
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado (2,49 % $\leq N_{48} \leq 2,57$ %) (Silva, 2012)	50
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia (3,13 % $\leq N_{48} \leq 3,30$ %) (Silva, 2012)	39 – 47

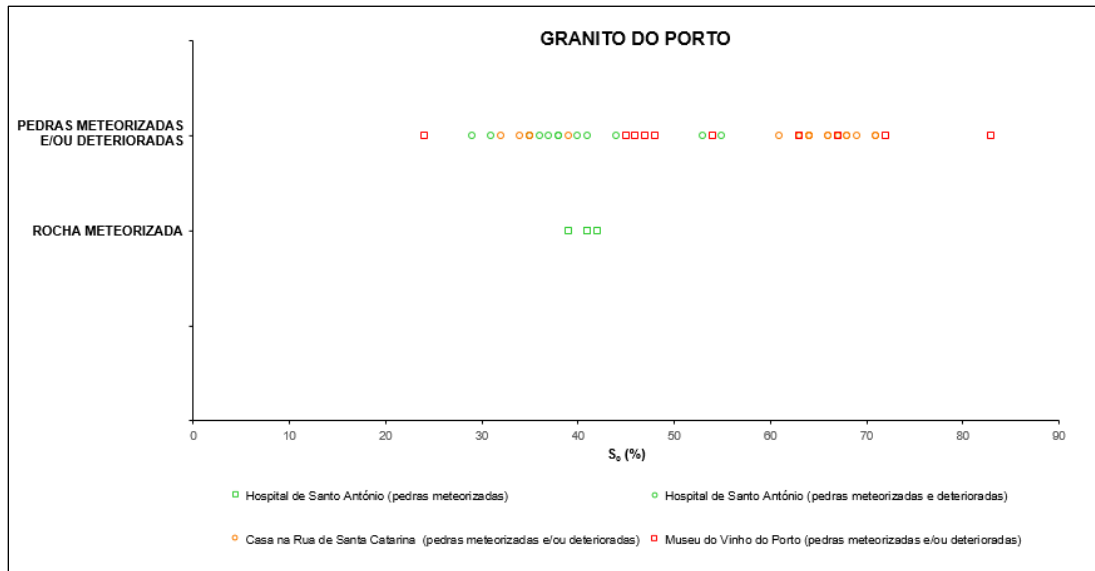


Figura 5.28: Granito do Porto – Valores do S_c obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

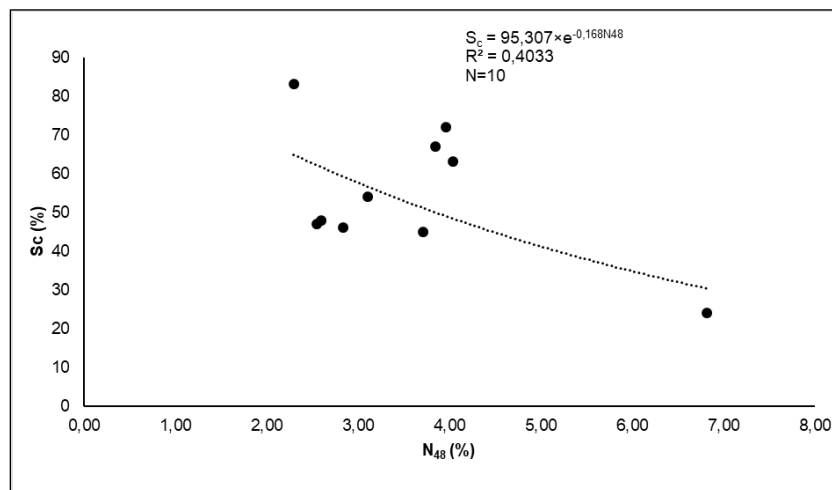
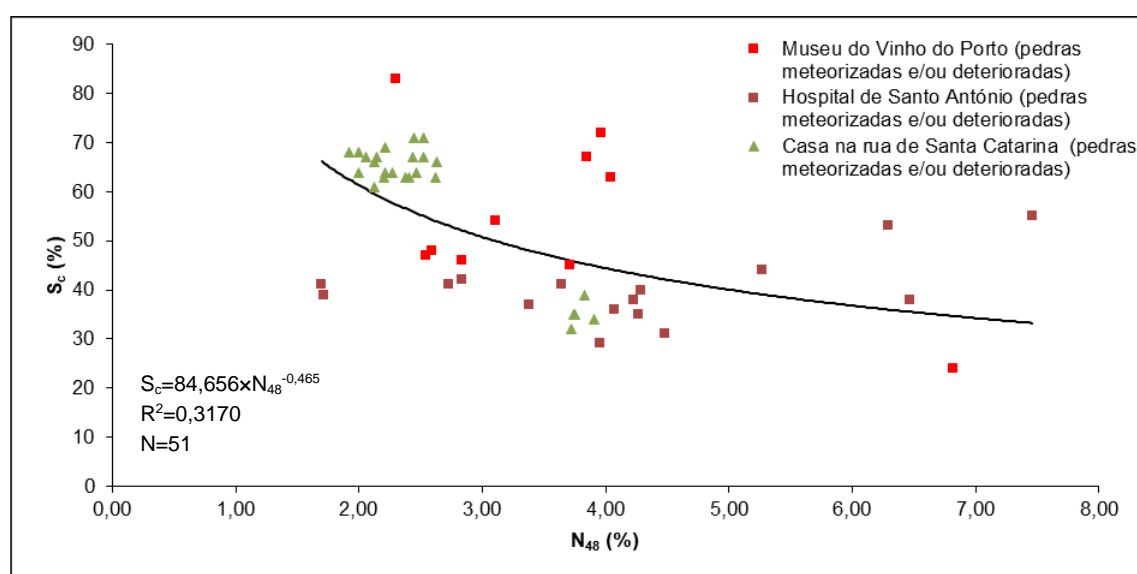


Figura 5.29: Correlação exponencial negativa obtida entre S_c e N_{48} para o granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

Tabela 5.20: Correlações entre S_c e N_{48} em monumentos e edifícios onde foi empregue granito do Porto

Casos de estudo	Correlação S_c (N_{48})	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$S_c=95,307 \times e^{-0,168N_{48}}$	0,4033	10
Granito do Porto (Hospital de Santo António, casa na rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$S_c=84,656 \times N_{48}^{-0,465}$	0,3170	51
Granito do Porto (Hospital de Santo António e casa na Rua de Santa Catarina)	$S_c=3,1778 \times N_{48}^2 - 31,776 \times N_{48} + 115,49$	0,5381	41
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e deteriorado (Begonha, 1997,2001)	$S_c=1,244 \times N_{48}^2 - 9,204 \times N_{48} + 53,723$	0,5268	16
Casa na Rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado (Resende, 2010)	$S_c=-12,464 \times N_{48}^2 + 55,265 \times N_{48} + 5,0485$	0,9368	25

Figura 5.30: Correlação potencial obtida entre S_c e N_{48} para edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto

A Tabela 5.21 apresenta os valores do tempo de saturação crítica calculados a partir do ensaio de evaporação em edifícios e monumentos de granito em Portugal.

Tabela 5.21: Valores limite do tempo de saturação crítica, t_{sc} obtida em monumentos e edifícios de Portugal

Casos de estudo	t_{sc} (h)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado (2,27 % $\leq N_{48} \leq 7,03$ %)	11,28 – 127,43
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (4,61 % $\leq N_{48} \leq 4,88$ %) (Begonha, 2000)	16 - 85
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide meteorizado (5,68 % $\leq N_{48} \leq 7,09$ %) (Begonha, 2000)	74 – 109
Mosteiro de São Miguel de Refojos – Granito de grão médio a grosseiro de tendência porfiroide muito meteorizado (7,36 % $\leq N_{48} \leq 8,53$ %) (Begonha, 2000)	152 - 156
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (1,70 % $\leq N_{48} \leq 1,72$ %) (Begonha, 2001)	7,6
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado (2,73 % $\leq N_{48} \leq 2,84$ %) (Begonha, 2001)	10,7 – 11,6
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (3,38 % $\leq N_{48} \leq 4,48$ %) (Begonha, 2001)	14,8 – 17,8
Hospital de Santo António – Pedra de granito do Porto meteorizado, afetada por placas (5,27 % $\leq N_{48} \leq 7,46$ %) (Begonha, 2001)	27,5 – 51,7
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado, afetadas por desagregação granular (3,96 % $\leq N_{48} \leq 4,29$ %) (Begonha, 2001)	18,9 – 21,5
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino de duas micas meteorizado (3,03 % $\leq N_{48} \leq 4,20$ %) (Angélico <i>et al.</i> , 2005)	7,3 – 7,4
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (4,85 % $\leq N_{48} \leq 6,19$ %) (Fojo, 2006)	72,2 – 120,9
Igreja Matriz de Caminha – Granito de grão médio meteorizado, afetado por desagregação granular (7,08 % $\leq N_{48} \leq 10,30$ %) (Fojo, 2006)	81,3 – 175,8
Igreja Matriz de Caminha – Microgranito meteorizado, afetado por desagregação granular (4,04 % $\leq N_{48} \leq 4,48$ %) (Fojo, 2006)	32,1 – 59,8
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, meteorizado (2,26 % $\leq N_{48} \leq 2,49$ %) (Costa Leite, 2008)	15,2 – 15,4
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência a porfiroide, muito meteorizado (5,87 % $\leq N_{48} \leq 6,81$ %) (Costa Leite, 2008)	63,4 – 103,3
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico meteorizado de cor cinzenta muito clara (2,58 % $\leq N_{48} \leq 2,82$ %) (Costa Leite, 2008)	9,0 – 9,2
Capela do Senhor da Pedra – Granito porfiroide de grão grosseiro, em geral biotítico, meteorizado, afetado por desagregação granular (Granito de Lavadores) (4,42 % $\leq N_{48} \leq 5,26$ %) (Bré, 2008)	9,9 – 13,7
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedras n.º 1,2,3 e 5 (1,92 % $\leq N_{48} \leq 2,63$ %) (Resende, 2010)	18,8 – 33,1
Casa na rua de Santa Catarina, Porto – Granito do Porto meteorizado: Pedra n.º 4 (3,72 % $\leq N_{48} \leq 3,91$ %) (Resende, 2010)	81,5 – 195,2
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado, não deteriorado (2,49 % $\leq N_{48} \leq 2,57$ %) (Silva, 2012)	28,8 – 34,3
Hospital da Misericórdia de Viana do Castelo – Granito de grão fino meteorizado afetado por desagregação granular de intensidade intermédia (3,13 % $\leq N_{48} \leq 3,30$ %) (Silva, 2012)	37,6 – 47,0

O tempo de saturação crítica varia de 11,28 h a 127,43 h para os provetes do Museu do Vinho do Porto. Os valores obtidos para granito do Porto meteorizado/deteriorado determinados em pedras do Hospital de Santo António e na casa da Rua de Santa Catarina têm um intervalo de variação superior e compreendido entre 7,6 h e 195,2 h (Figura 5.31). O mesmo sucede quando se analisam os edifícios e monumentos onde se empregaram outros tipos de granito ($7,3 \text{ h} \leq t_{sc} \leq 175,8 \text{ h}$).

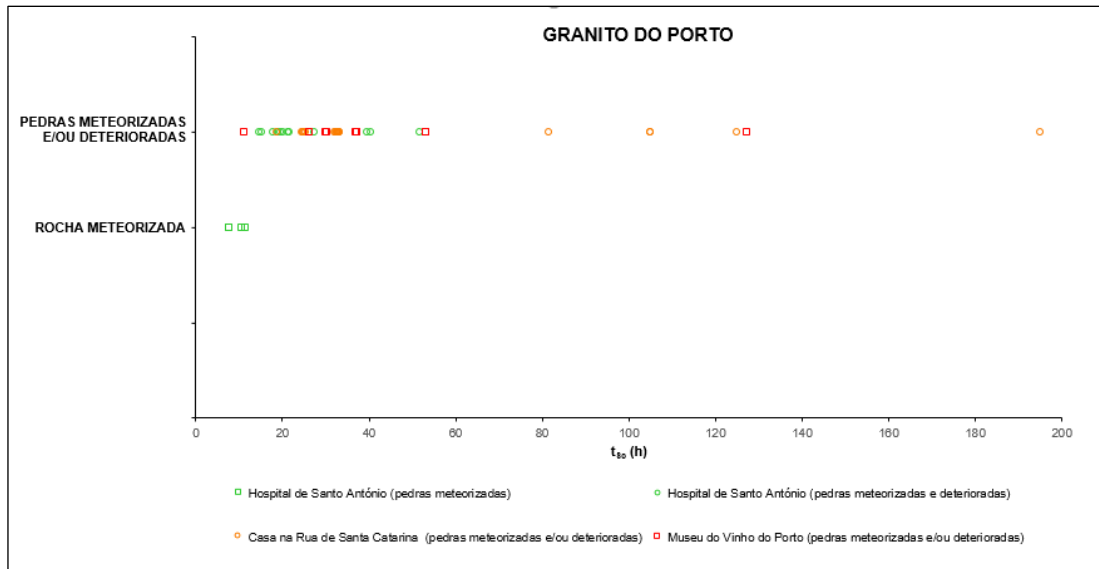


Figura 5.31: Granito do Porto – Valores do t_{sc} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

Apresenta-se, na Figura 5.32, a correlação polinomial positiva calculada para o tempo de saturação crítica e porosidade livre às 48 horas ($t_{sc}=2,4321 \times N_{48}^2+1,3369 \times N_{48}+4,6667$), com elevado coeficiente de correlação ($R^2=0,9577$ com $N=10$)

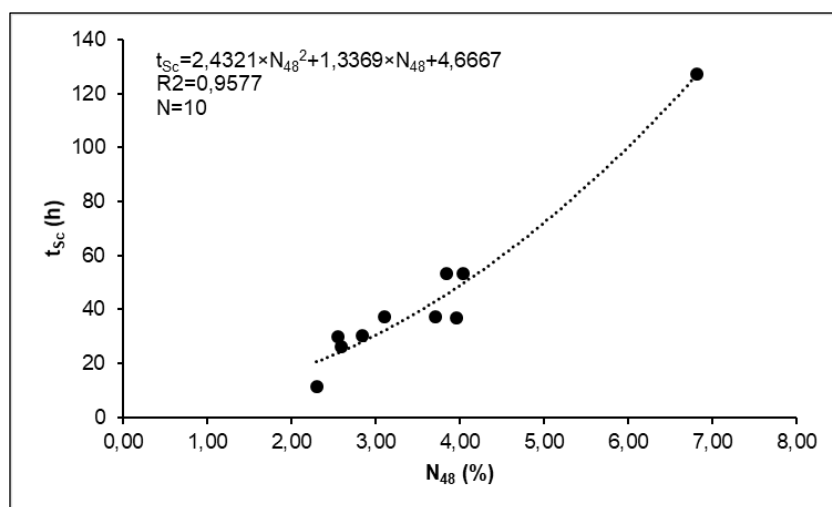


Figura 5.32: Correlação polinomial obtida entre t_{sc} e N_{48} para o granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto

Na Tabela 5.22, discriminam-se as correlações obtidas entre o tempo de saturação crítica e a porosidade livre às 48 horas. De notar, que os coeficientes de correlação obtidos isoladamente para cada caso de estudo são bastante altos, o mesmo não acontecendo quando se analisa o conjunto dos valores dos diferentes trabalhos ($t_{sc}=13,2594 \times N_{48}^{0,7522}$ com $R^2 = 0,1709$ e $N = 51$) (Figura 5.33).

Tabela 5.22: Correlações obtidas entre t_{sc} e N_{48} em monumentos e edifícios construídos com granito do Porto

Casos de estudo	Correlação t_{sc} (N_{48})	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$t_{sc}=2,4321 \times N_{48}^2 + 1,3369 \times N_{48} + 4,6667$	0,9577	10
Granito do Porto (Hospital de Santo António, casa na Rua de Santa Catarina e Museu do Vinho do Porto)	$t_{sc}=13,2594 \times N_{48}^{0,7522}$	0,1709	51
Granito do Porto (Hospital de Santo António e casa na Rua de Santa Catarina)	$t_{sc}=-3,795 \times N_{48}^2 + 37,193 \times N_{48} - 35,381$	0,1119	41
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e deteriorado (Silva, 2012)	$t_{sc}=0,9077 \times N_{48}^2 - 0,6418 \times N_{48} + 6,2672$	0,9732	16
Casa na rua de Santa Catarina – Granito do Porto meteorizado	$t_{sc}=44,875 \times N_{48}^2 - 208,65 \times N_{48} + 270,12$	0,8641	25

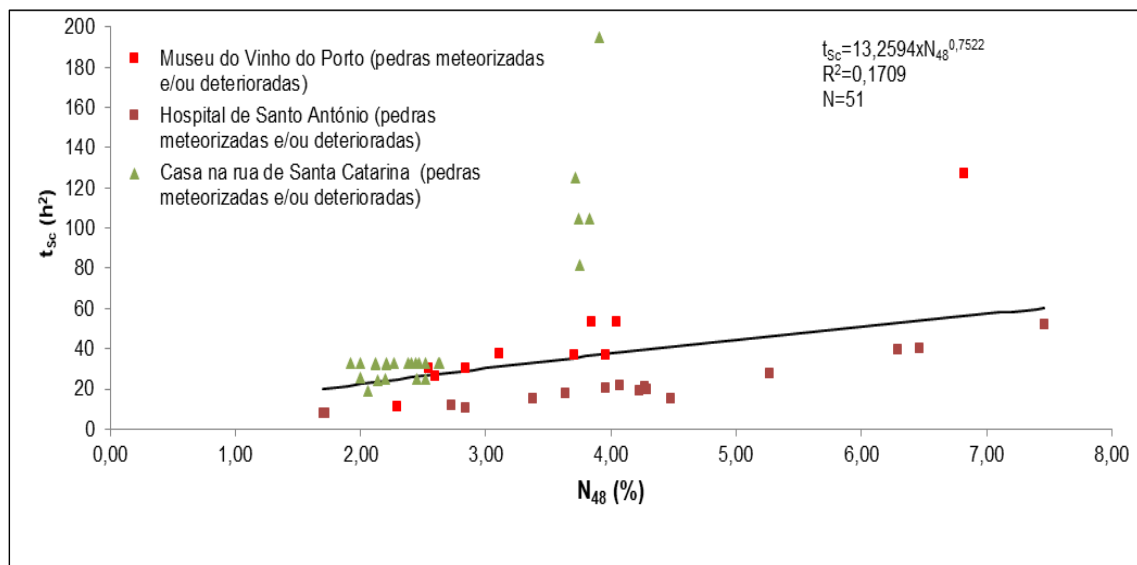


Figura 5.33: Correlação potencial positiva obtida entre t_{sc} e N_{48} para edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto

5.7. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DOS ULTRASSONS

Os resultados do ensaio da determinação da velocidade de propagação dos ultrassons são apresentados na Tabela 5.23.

Verifica-se que entre os provetes de cada tarolo não há uma variação significativa da velocidade, logo a variação da mesma em profundidade não é significativa.

Tabela 5.23: Resultados do ensaio da determinação da velocidade de propagação dos ultrassons (v)

Tarolo	Provete	v (m/s)
MVP C1	MVP C1.1	2800
	MVP C1.2	3100
	MVP C1.3	3100
	MVP C1.4	2900
	MVP C1.5	2700
MVP C2	MVP C2.1	1900
	MVP C2.2	2100
	MVP C2.3	2200
MVP C3	MVP C3.1	3800
	MVP C3.2	3900
	MVP C3.3	3900
MVP C4	MVP C4.1	3100
	MVP C4.2	3000
	MVP C4.3	2900
MVP C5	MVP C5.1	2500
	MVP C5.2	2200
	MVP C5.3	2100
MVP C6	MVP C6.1	1500
	MVP C6.2	1500
	MVP C6.3	1200
MVP C7	MVP C7.1	3000
	MVP C7.2	2800

Contudo, tal não se verifica de tarolo para tarolo. Assim, a velocidade aumenta pela seguinte ordem: MVP C6, MVP C2, MVP C5, MVP C7, MVP C1, MVP C4 e MVP C3. O tarolo MVP C6 distingue-se nitidamente pelos baixos valores obtidos (entre 1200 m/s e 1500 m/s) e o tarolo MVP C3 pelos valores mais elevados (entre 3800 m/s e 3900 m/s).

Na Tabela 5.24, exibem-se os limites obtidos para a velocidade de propagação dos ultrassons em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos.

Os valores da velocidade de propagação de ultrassons, obtidos no caso em estudo ($1200 \text{ m/s} \leq v \leq 3900 \text{ m/s}$), são muito inferiores aos do granito do Porto não meteorizado ($5370 \text{ m/s} \leq v \leq 6420 \text{ m/s}$).

O valor mínimo da velocidade de propagação de ultrassons, obtido no caso em estudo (1200 m/s), é da mesma ordem de grandeza do obtido por Begonha (1997, 2001) no granito muito meteorizado de perfis de meteorização (1300 m/s). O valor superior ($v = 3900 \text{ m/s}$) inclui-se na gama de valores apresentados na Tabela 5.24 e Figura 5.34 referentes aos provetes com a mesma gama de porosidade livre.

Tabela 5.24: Resultados de v em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto usadas em edifícios e monumentos

Casos de estudo	v (m/s)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,27 \% \leq N_{48} \leq 7,03 \%$)	1200 – 3900
Granito do Porto não meteorizado ($0,63 \% \leq N_{48} \leq 1,00 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	5370 - 6420
Granito do Porto meteorizado ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 3,96 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2160 – 4080
Granito do Porto meteorizado ($4,04 \% \leq N_{48} \leq 6,26 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	1880 – 3380
Granito do Porto muito meteorizado ($7,79 \% \leq N_{48} \leq 10,77 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	1300 – 1880
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado não deteriorado ($1,53 \% \leq N_{48} \leq 3,10 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	2090 – 5010
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado e deteriorado ($3,38 \% \leq N_{48} \leq 7,46 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	1600 – 4270
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,14 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	1850 – 2210

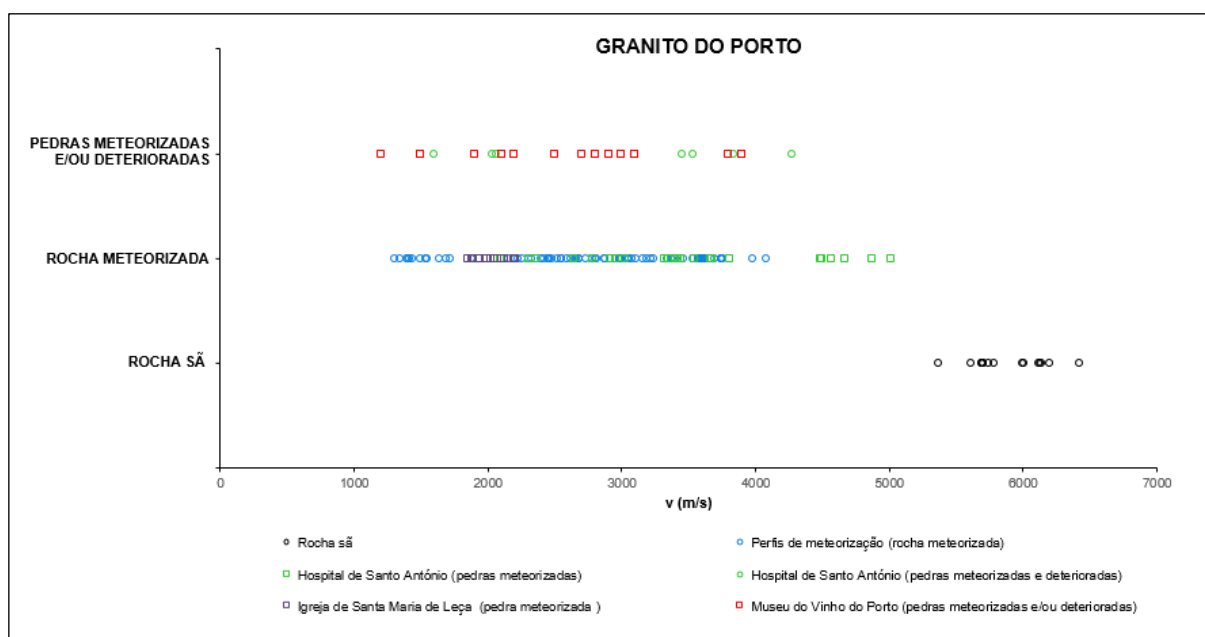


Figura 5.34: Granito do Porto – Valores de v obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

A Figura 5.35 mostra a correlação logarítmica negativa determinada entre a velocidade de propagação dos ultrassons e a porosidade livre às 48 horas para o caso em estudo ($v = -2018 \times \ln(N_{48}) + 5061,1$) com coeficiente de correlação elevado ($R^2=0,8885$ e $N=22$).

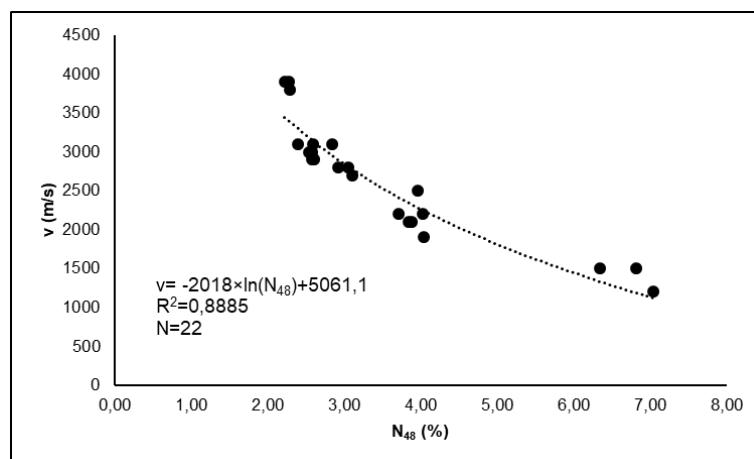


Figura 5.35: Correlação logarítmica negativa obtida entre v e N_{48} no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto

As correlações obtidas para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos são apresentadas na Tabela 5.25.

Tabela 5.25: Correlações obtidas entre v e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos

Casos de estudo	Correlação v (N_{48})	Coefficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$v = -2018 \times \ln(N_{48}) + 5061,1$	0,8885	22
Granito do Porto (Perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e Museu do Vinho do Porto)	$v = -1673 \times \ln(N_{48}) + 4987,5$	0,8153	159
Granito do Porto (Perfis de meteorização Hospital de Santo António e Igreja de Santa Maria de Leça)	$v = -1651 \times \ln(N_{48}) + 5016,2$	0,8222	137
Perfis de meteorização – Granito do Porto meteorizado	$v = -1653 \times \ln(N_{48}) + 5171,5$	0,9462	91
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Begonha, 1997, 2001)	$v = -1504 \times \ln(N_{48}) + 4881,6$	0,5111	32
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado (Moutinho, 2005)	$v = -253,88 \times N_{48} + 2860,9$	0,1388	14

A correlação logarítmica negativa associada aos perfis de meteorização de granito do Porto é a que apresenta maior coeficiente de correlação ($R^2 = 0,9462$ com $N = 91$). Os coeficientes de correlação são ainda elevados quando aos perfis de meteorização se associaram pedras de monumentos e edifícios construídos com o mesmo tipo de granito. A Figura 5.36 mostra a correlação logarítmica negativa ($v = -1673 \times \ln(N_{48}) + 4987,5$) obtida entre v e N_{48} para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e Museu do Vinho do Porto.

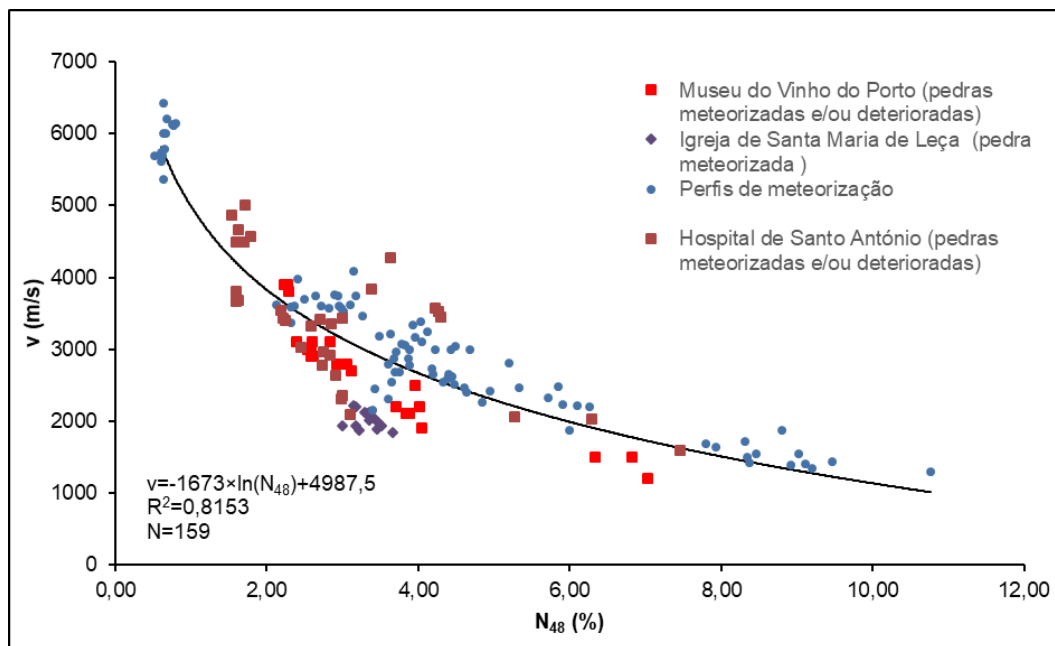


Figura 5.36: Correlação logarítmica negativa obtida entre v e N_{48} para perfis de meteorização e pedras granito do Porto empregues em edifícios e monumentos onde se utilizou o granito do Porto

5.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

A Tabela 5.26 apresenta os resultados da tensão de rotura (σ_{\max}) obtida no ensaio de compressão uniaxial.

Da análise da Tabela 5.26, pode-se concluir que a tensão de rotura à compressão uniaxial varia entre 18,6 MPa e 103,2 MPa, estando compreendido entre 83,9 MPa e 103,2 MPa para os provetes MVP C1.2, MVP C1.1, MVP C1.3, MVP C1.4 e MVP C1.5, entre 46,6 MPa e 79,4 MPa para os provetes MVP C5.1, MVP C7.2, MVP C2.1, MVP C4.1, MVP C5.3, MVP C 4.3, MVP C2.3, MVP C3.3, MVP C3.2, MVP C1.5, MVP C7.1 e MVP C4.2, e, por último, entre 18,6 MPa e 38,4 MPa para os provetes MVP C6.2, MVP C6.3, MVP C5.2, MVP C6.1 e MVP C2.2.

A resistência à compressão uniaxial não tem um comportamento uniforme com a profundidade.

Assim, no tarolo com uma face exposta MVP C1, constata-se que a resistência é máxima em MVP C1.4 e mínima em MVP C1.5 (o provete mais profundo). Nos tarolos MVP C2 e MVP C6 com uma única face exposta, o valor mínimo encontra-se nos provetes centrais (MVP C2.2 e MVP C6.2). No entanto, em MVP C2, o valor máximo encontra-se no provete mais profundo (MVP C2.3) enquanto, no tarolo MVP C6, o valor máximo situa-se no provete superficial (MVP C6.1). Em MVP C 4, igualmente com uma só face exposta, o valor máximo encontra-se no provete central (MVP C4.3) e, por último, em MVP C7, a resistência à compressão uniaxial diminui em profundidade.

Os restantes tarolos (MVP C3 e MVP C5), com as duas faces expostas, comportam-se de modo distinto. Em MVP C3, a resistência à compressão uniaxial diminui de uma extremidade para a outra (do provete MVP C3.1 para o provete MVP C3.3). Em MVP C5, a resistência à compressão uniaxial diminui das extremidades para o provete central.

Tabela 5.26: Resultados da tensão de rotura (σ_{\max}) obtidos no ensaio à compressão uniaxial

Tarolo	Provete	σ_{\max} (MPa)
MVP C1	MVP C1.1	92,0
	MVP C1.2	83,9
	MVP C1.3	95,2
	MVP C1.4	98,8
	MVP C1.5	74,1
MVP C2	MVP C2.1	50,2
	MVP C2.2	38,4
	MVP C2.3	56,5
MVP C3	MVP C3.1	103,2
	MVP C3.2	65,2
	MVP C3.3	60,0
MVP C4	MVP C4.1	50,7
	MVP C4.2	79,4
	MVP C4.3	55,7
MVP C5	MVP C5.1	46,6
	MVP C5.2	30,8
	MVP C5.3	54,3
MVP C6	MVP C6.1	31,7
	MVP C6.2	18,6
	MVP C6.3	27,3
MVP C7	MVP C7.1	76,5
	MVP C7.2	49,3

A Tabela 5.27 apresenta os intervalos de variação da tensão de rotura à compressão uniaxial referentes a perfis de meteorização e pedras de granito do Porto empregues em edifícios e monumentos.

Tabela 5.27: Resultados da resistência à compressão uniaxial (σ_{\max}) em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos

Casos de estudo	σ_{\max} (MPa)
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado ($2,27 \% \leq N_{48} \leq 7,03 \%$)	18,6 – 103,2
Granito do Porto não meteorizado ($0,63 \% \leq N_{48} \leq 1,00 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	130,6 – 157,0
Granito do Porto meteorizado ($2,12 \% \leq N_{48} \leq 3,96 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	73,2 – 135,2
Granito do Porto meteorizado ($4,04 \% \leq N_{48} \leq 6,26 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	60,0 – 79,8
Granito do Porto muito meteorizado ($7,79 \% \leq N_{48} \leq 10,77 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	20,2 – 29,4
Hospital de Santo António – Pedras de granito do Porto meteorizado não deteriorado ($1,60 \% \leq N_{48} \leq 3,10 \%$) (Begonha, 1997, 2001)	78,8 – 132,7
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto meteorizado ($3,14 \% \leq N_{48} \leq 3,66 \%$) (Moutinho, 2005)	38,4 – 69,4

A gama de valores obtidos nos provetes do Museu do Vinho do Porto ($18,6 \text{ MPa} \leq \sigma_{\max} \leq 103,2 \text{ MPa}$) engloba valores de σ_{\max} determinados para granitos/pedras muito meteorizados a meteorizadas, sendo inferior ao intervalo correspondente ao granito do Porto não meteorizado ($130,6 \text{ MPa} \leq \sigma_{\max} \leq 157,0 \text{ MPa}$) (Figura 5.37).

Figura 5.37: Granito do Porto – Valores de σ_{\max} obtidos em perfis de meteorização e pedras utilizadas em edifícios e monumentos

A Figura 5.38 mostra a correlação exponencial negativa obtida entre σ_{\max} e N_{48} ajustada aos valores obtidos no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto ($\sigma_{\max} = 139,99 \times e^{-0,261N_{48}}$) com um coeficiente de correlação baixo ($R^2 = 0,6881$ e $N = 22$).

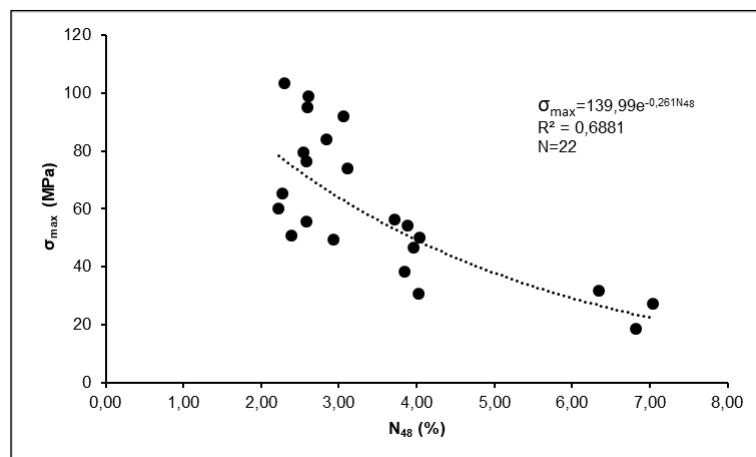


Figura 5.38: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{\max} e N_{48} no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto

A Tabela 5.28 apresenta as correlações obtidas para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos. Apenas a correlação exponencial negativa $\sigma_{\max} = 194,13 \times e^{-0,236N_{48}}$ ajustada para perfis de meteorização e calculada por Begonha (1997, 2001) tem um elevado coeficiente de correlação ($R^2 = 0,9451$ com $N = 43$).

Tabela 5.28: Correlações obtidas para perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas em edifícios e monumentos

Casos de estudo	Correlação σ_{\max} (N_{48})	Coeficiente de correlação R^2	N
Museu do Vinho do Porto – Granito do Porto meteorizado/deteriorado	$\sigma_{\max}=139,99 \times e^{-0,261N_{48}}$	0,6881	22
Granito do Porto (Perfis de meteorização, Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e Museu do Vinho do Porto)	$\sigma_{\max}=164,61 \times e^{-0,232N_{48}}$	0,7506	80
Granito do Porto (Perfis de meteorização, Hospital de Santo António e Igreja de Santa Maria de Leça)	$\sigma_{\max}=178,78 \times e^{-0,227N_{48}}$	0,8747	58
Perfis de meteorização – Granito do Porto meteorizado	$\sigma_{\max}=194,13 \times e^{-0,236N_{48}}$	0,9451	43
Hospital de Santo António – Granito do Porto meteorizado e/ou deteriorado (Begonha, 1997, 2001)	$\sigma_{\max}=-28,45 \times \ln(N_{48}) + 124,38$	0,2901	12

A Figura 5.39 mostra a correlação exponencial negativa existente entre a tensão de rotura à compressão uniaxial e a porosidade livre às 48 horas ($\sigma_{\max} = 164,61 \times e^{-0,232N_{48}}$) com um coeficiente de correlação baixo de $R^2 = 0,7506$ ($N = 80$) que se obteve para o conjunto dos valores dos perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e

Museu do Vinho do Porto. Observando a Figura 5.39, constata-se que os valores obtidos no caso em estudo não se enquadram particularmente bem, uma vez que se encontram maioritariamente abaixo do ajuste. Assim, conforme expresso na Tabela 5.28 e na Figura 5.40, o coeficiente de correlação sobe de $R^2 = 0,7506$ para $R^2 = 0,8747$, quando se excluem os valores do Museu do Vinho do Porto.

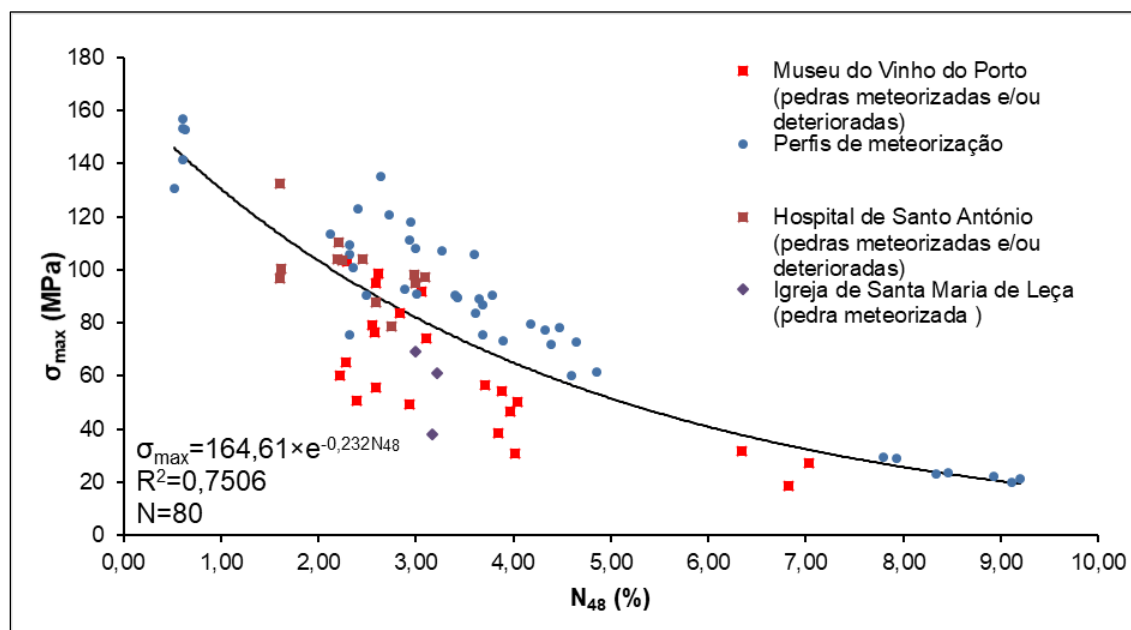


Figura 5.39: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{\max} e N_{48} em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas no Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e Museu do Vinho do Porto

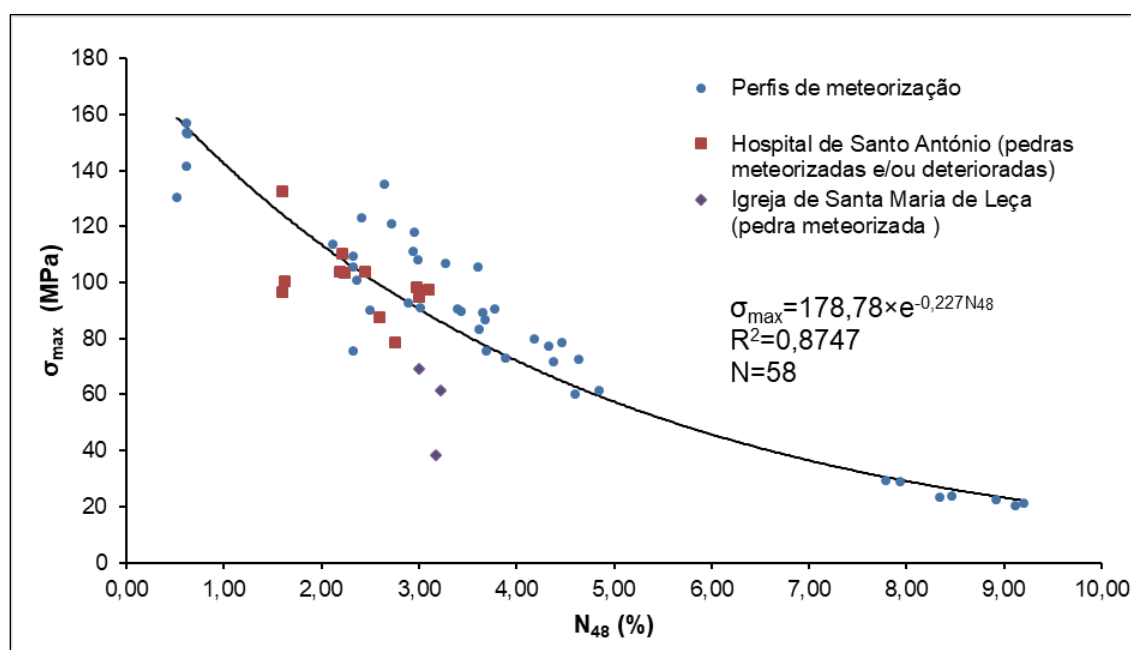


Figura 5.40: Correlação exponencial negativa obtida entre σ_{\max} e N_{48} em perfis de meteorização e pedras de granito do Porto aplicadas no Hospital de Santo António e Igreja de Santa Maria de Leça

5.9. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA SUPERFICIAL ATRAVÉS DO ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT

Neste subcapítulo, são apresentados os resultados obtidos com o esclerómetro de Schmidt, utilizando os intervalos de referência para a resistência à compressão uniaxial, definidos por Madureira (2008) e conforme a Tabela 5.29.

Tabela 5.29: Intervalos de referência para a resistência à compressão uniaxial determinada a partir do ensaio com o esclerómetro de Schmidt (Madureira, 2008)

	Tipo de Deterioração	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
	Desagregação granular de intensidade forte	[0 – 25]
	Desagregação granular de intensidade média	[25 – 90]
	Desagregação granular de intensidade fraca	> 90

O ensaio com o esclerómetro de Schmidt foi executado em pedras ou áreas de pedras previamente cartografadas em 2.2. Como referido em 3.2.10., as pedras anteriormente cartografadas foram numeradas sequencialmente, tendo-se iniciado com a pedra número 1 no piso -2 e concluído com a pedra número 36 no piso 3. (Figuras 5.41 a 5.47).

No total, realizaram-se 1206 determinações com o esclerómetro de Schmidt a que corresponderam 63 valores médios em 36 pedras distintas (Anexo A4).

Na Tabela 5.30, identificam-se as pedras ou áreas de pedra, referindo-se, para cada uma delas, as orientações estudadas (Norte – N, Sul – S, Oeste – W e Este – E), a média das leituras e a resistência à compressão uniaxial obtidas a partir do ensaio com esclerómetro de Schmidt. Atribuiu-se a intensidade da desagregação granular com base nos limites propostos por Madureira (2008) e apresentados na Tabela 5.29. Por fim, apresentam-se as intensidades de desagregação granular atribuídas pela cartografia das deteriorações. A desagregação granular de intensidade forte foi representada a vermelho e a desagregação granular de intensidade média a cor de laranja, de acordo com a cartografia. Analisando a Tabela 5.30, verifica-se que o valor de resistência à compressão uniaxial é máximo na pedra 28 W, atingindo 80 MPa e mínimo de 18 MPa nas pedras 11 W, 13 E e 17 S.

Comparando os resultados obtidos com os valores limites apresentados na Tabela 5.29, verifica-se que apenas na pedra 12 E há discrepância entre as intensidades atribuídas. Foi considerada como afetada por desagregação granular de intensidade forte na cartografia das deteriorações (Figura 5.42a) e como afetada por desagregação granular de intensidade média a partir do valor da resistência à compressão uniaxial ($\sigma_{\max} = 26$ MPa) determinada pelo esclerómetro de Schmidt.

Pode-se assim concluir que a atribuição da intensidade da desagregação granular pela cartografia das deteriorações em três graus, inexistente a fraca, média e forte, baseada numa avaliação sensorial que inclui a quantidade de material que cai pelo toque das superfícies com a mão, a observação da rugosidade da superfície e do adoçamento das formas e a perda de material pétreo ocorrido até então, tem significado.

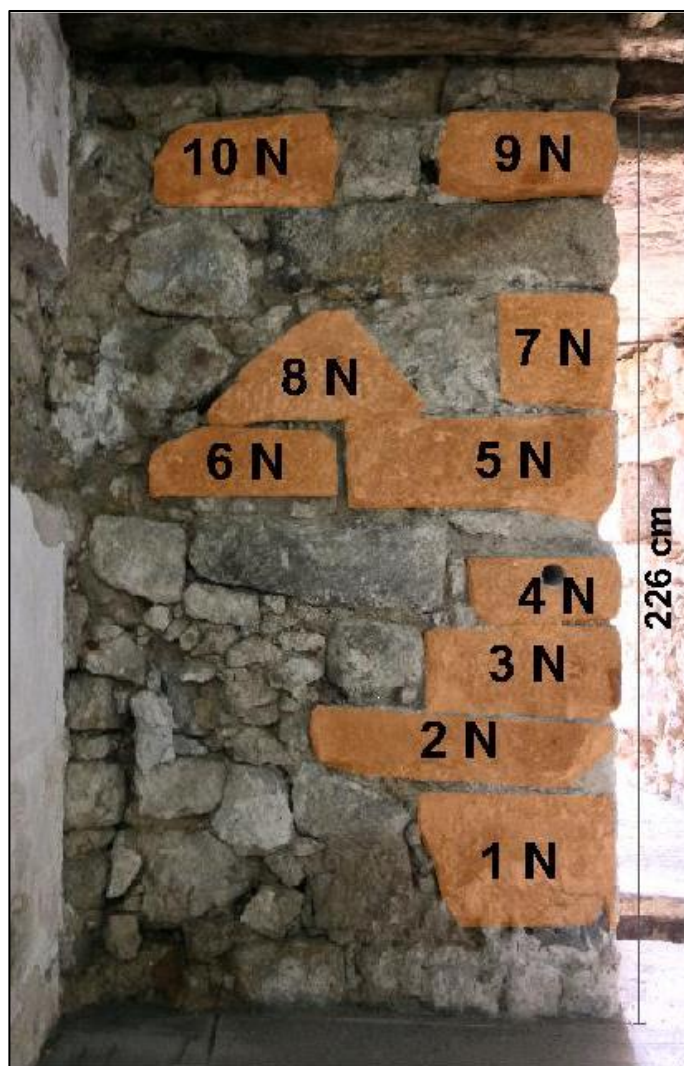


Figura 5.41: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso -2 – Muro de suporte – Lado esquerdo



a) Vão esquerdo – Ombreira direita

b) Vão central – Ombreira esquerda

c) Vão direito – Ombreira esquerda

Figura 5.42: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso -1

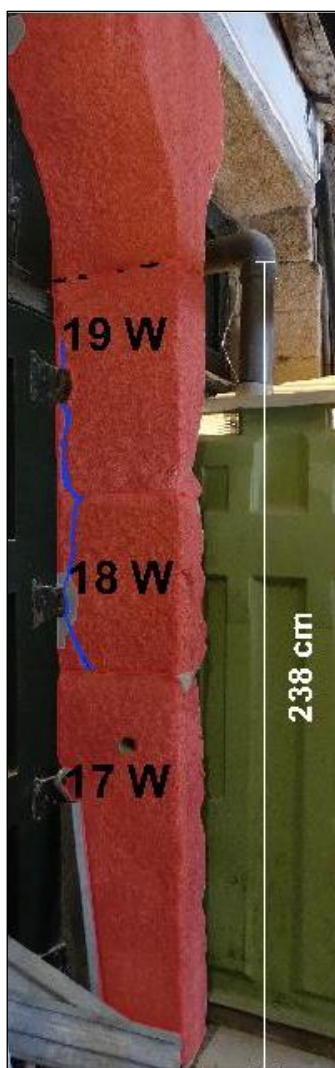


a) Vão esquerdo – Ombreira esquerda

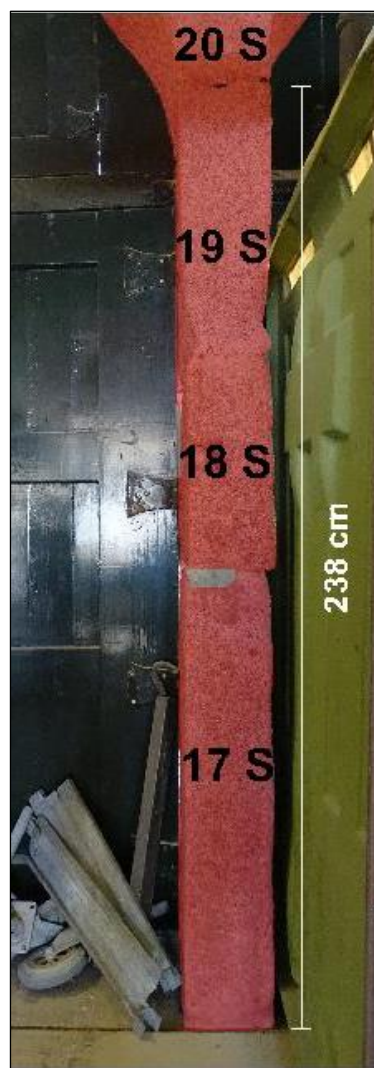


b) Vão central – Ombreira esquerda

Figura 5.43: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 0



a) Ombreira direita

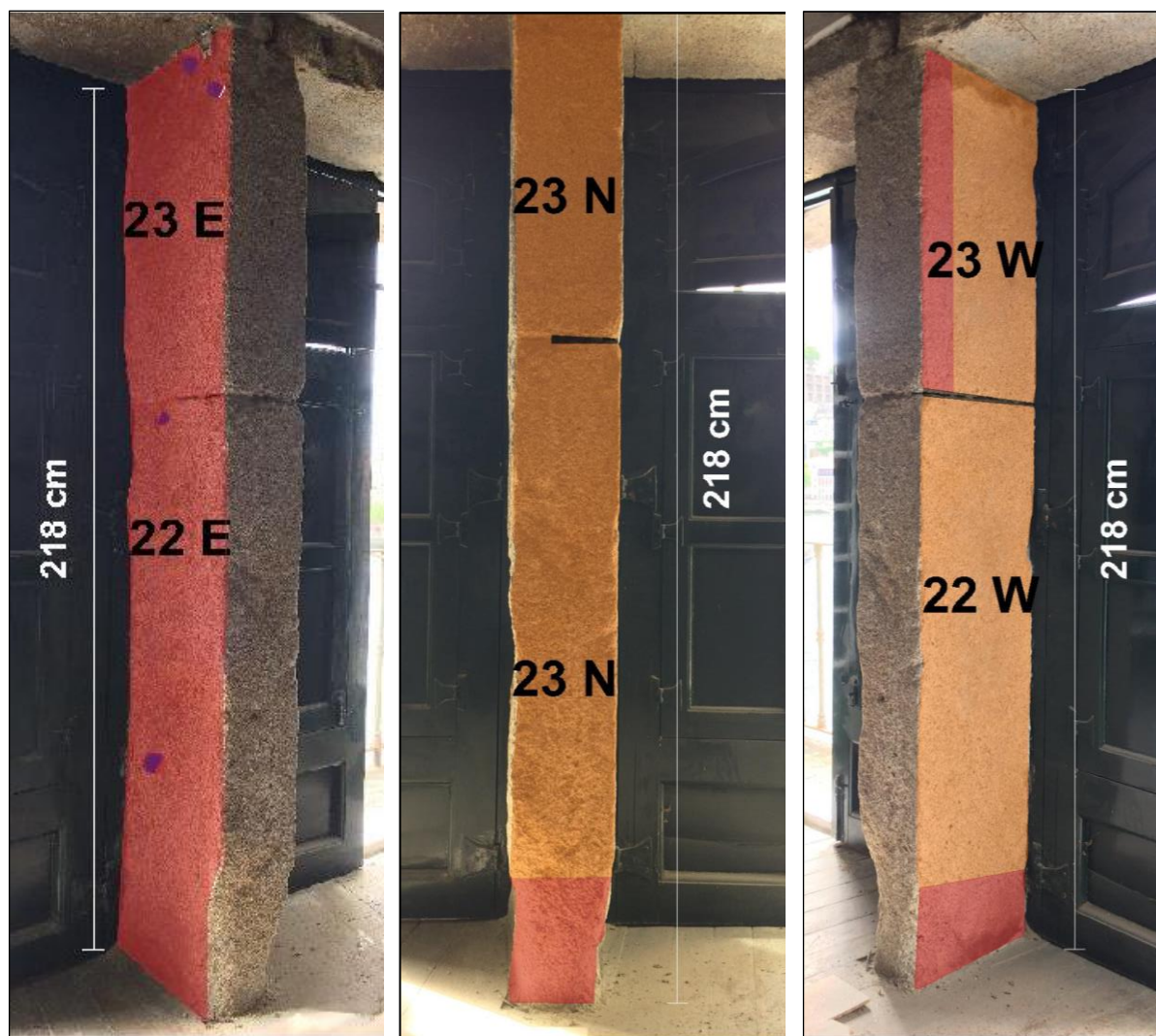


b) Face Sul da ombreira direita

Figura 5.44: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Norte – Piso 0 – Vão central



Figura 5.45: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Fachada Sul – Piso 1 – Vão esquerdo – Ombreira esquerda



a) Vão esquerdo – Ombreira direita

b) Face voltada a Norte

c) Vão central – Ombreira esquerda

Figura 5.46: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 1

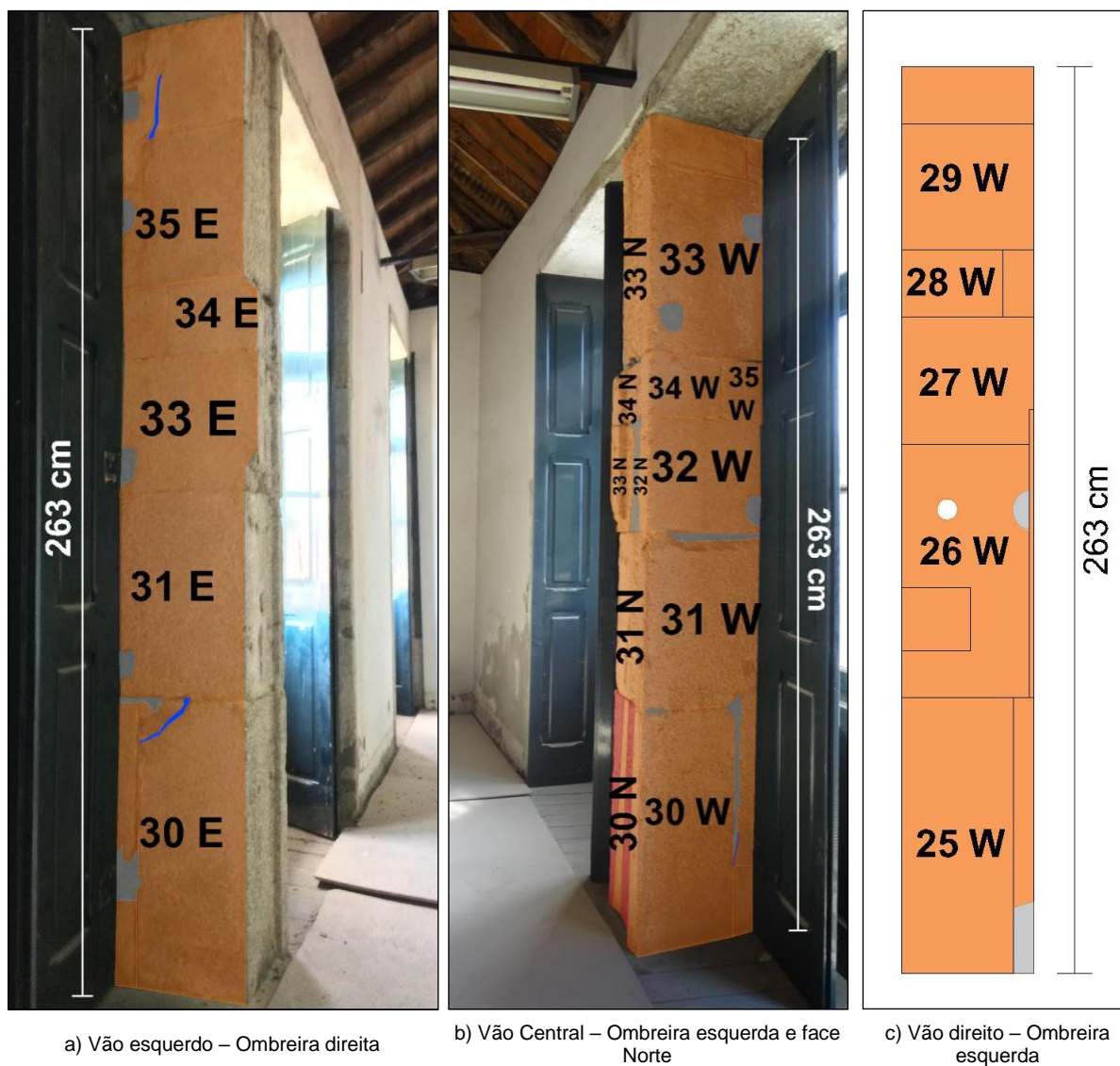


Figura 5.47: Cartografia das deteriorações e numeração das pedras – Interior – Fachada Sul – Piso 3

Tabela 5.30: Resistência à compressão uniaxial obtida pelo esclerómetro de Schmidt e intensidades de desagregação granular atribuídas pela cartografia das deteriorações e pelo esclerómetro de Schmidt

Número da pedra/área de pedra	Desagregação granular		Média das leituras	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
	Cartografia	Esclerómetro		
1 N			31	43
2 N			29	39
3 N			31	43
4 N			32	45
5 N			26	34
6 N			27	37
7 N			25	33
8 N			30	42
9 N			35	54
10 N			29	39
11 W			15	18
12 W			21	25
12 E			22	26
13 W			16	19
13 E			15	18
14 W			21	25
15 W			18	21
16 W			17	20
17 S			15	18
17 W			17	20
18 S			17	20
18 W			17	20
19 S			20	24
19 W			21	25
20 S			21	25
21 W			17	20
21 N			18	21
22 W			36	55
22 W			20	24
22 N			27	37
22 N			16	19
22 E			17	20
23 W			27	37
23 W			19	23
23 N			24	30
23 E			18	21
24 W			17	20
24 S			20	24
25 W			29	39

Tabela 5.30: Resistência à compressão uniaxial obtida pelo esclerómetro de Schmidt e intensidades de desagregação granular atribuídas pela cartografia das deteriorações e pelo esclerómetro de Schmidt (continuação)

Número da pedra/área de pedra	Desagregação granular		Média das leituras	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
	Cartografia	Esclerómetro		
26 W			39	66
27 W			41	76
28 W			42	80
29 W			40	69
30 W			32	45
30 N			40	69
30 N			18	21
30 N			20	24
30 N			36	55
30 E			37	60
31 W			27	37
31 N			31	43
31 E			34	50
32 W			30	42
32 N			29	39
33 N			37	60
33 E			38	65
34 W			32	45
34 N			31	43
34 E			37	60
35 W			39	66
36 W			29	39
36 N			26	34
36 E			32	45

Com efeito, apenas uma face de uma pedra afetada por desagregação granular, em 63 analisadas, foi classificada diferentemente pelos dois métodos. De realçar ainda, que neste caso, o valor de 26 MPa obtido pelo esclerómetro de Schmidt se situa perto do limite de 25 MPa que separa a desagregação granular de intensidade média da desagregação granular de intensidade forte. Estes resultados confirmam os obtidos por Madureira (2008) no granito do Porto empregue no Mosteiro da Serra do Pilar.

O valor médio da resistência à compressão uniaxial obtido para a média de 37 pedras/área de pedra com desagregação granular de intensidade média foi de $49 \text{ MPa} \pm 12,8 \text{ MPa}$, variando entre 26 MPa e 80 MPa.

O valor médio da resistência à compressão uniaxial obtido para a média de 26 pedras/área de pedra com desagregação granular de intensidade forte foi de $22 \text{ MPa} \pm 2,5 \text{ MPa}$, variando entre 18 MPa e 25 MPa (Tabela 5.31).

Tabela 5.31: Tratamento estatístico dos resultados obtidos com o esclerómetro de Schmidt

Tipo de deterioração	Número de valores médios de pedras/áreas de pedra	Média da resistência à compressão uniaxial (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Intervalo de valores para a resistência à compressão uniaxial (MPa)
				[min – máx]
Desagregação granular de intensidade média	37	49	12,8	[26 – 80]
Desagregação granular de intensidade forte	26	22	2,5	[18 – 25]

Na Fachada Norte da Torre Sineira e no Porta da Igreja do Mosteiro da Serra do Pilar, Madureira (2008) obteve valores médios muito semelhantes para a resistência à compressão uniaxial em pedras com desagregação granular de intensidade forte ou média, respetivamente iguais a $19 \text{ MPa} \pm 2,0 \text{ MPa}$ e $43 \text{ MPa} \pm 11,8 \text{ MPa}$.

5.10. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Na Tabela 5.32, apresentam-se os resultados de todos os ensaios realizados, nomeadamente, da porosidade livre às 48 horas, da densidade, da porometria de mercúrio, da absorção de água por capilaridade, da evaporação, da velocidade de propagação dos ultrassons e da resistência à compressão uniaxial, com o objetivo de facilitar a análise dos parâmetros determinados. É igualmente apresentado o estado de deterioração observado em cada pedra onde se removeram os tarolos.

Com os resultados obtidos, discutidos anteriormente e exibidos na Tabela 5.32, elaborou-se a Figura 5.48, que apresenta esquematicamente os tarolos de granito que foram extraídos no Museu do Vinho do Porto. Em cada tarolo foram representados os provetes cilíndricos ensaiados e as amostras analisadas com o porosímetro de mercúrio, bem como a sua localização no respetivo tarolo. Cada linha da Figura 5.48 corresponde a um parâmetro determinado num dado ensaio, cujo valor se encontra representado por uma escala de cores: amarelo, cor de laranja e vermelho. Estas três cores correspondem, para cada ensaio, respetivamente à gama mediana, fraca ou muito fraca de valores, tendo como base os obtidos para os mesmos ensaios por Begonha (1997, 2001) para o granito do Porto não meteorizado, que se denominou por “rocha sã”.

Conforme se denota, de um modo geral, a variação em profundidade dos parâmetros obtidos nos vários ensaios não é significativa em cada tarolo, apenas se verificando as cores amarela e vermelha no tarolo MVP C5 para o coeficiente de capilaridade B. Além disso, observa-se que, em alguns tarolos, a variação de determinados parâmetros em profundidade não ocorre como seria de esperar, ou seja, não se verifica um aumento de deterioração do interior para a superfície.

Tabela 5.32: Resultados dos ensaios realizados no edifício do Museu do Vinho do Porto

Tarolo	Provete	N ₄₈ (%)	d	Porosímetro				Tipo de rede porosa	Capilaridade		Evaporação			Ultrassons		Resistência
				N _{Hq} (%)	N _μ (%)	N _μ /N _{Hq} (%)	d _a (μm)		A (g.cm ⁻² .h ^{-1/2})	B (cm.h ^{-1/2})	q (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	S _c (%)	t _{sc} (h)	v (m/s)	σ _{máx} (MPa)	
MVP C1	Associado a pedra com desagregação granular inexistente a fraca	MVP C1.1	3,05	2,53					0,1119	4,1870				2800	92,0	
		MVP P1.1			3,55	2,29	64,6	0,73								
		MVP C1.2	2,84	2,54					0,1069	3,8586	-0,0020	46	30,28	3100	83,9	
		MVP C1.3	2,59	2,54					0,0982	3,9958	-0,0020	48	26,20	3100	95,2	
		MVP C1.4	2,61	2,53					0,1053	4,7790				2900	98,8	
		MVP C1.5	3,11	2,52					0,1457	5,1790	-0,0015	54	37,27	2700	74,1	
MVP C2	Associado a pedra com desagregação granular muito forte e plaquetas	MVP C2.1	4,04	2,46					0,0786	2,3995	-0,0013	63	53,23	1900	50,2	
		MVP C2.2	3,85	2,49					0,0797	2,1812	-0,0011	67	53,18	2100	38,4	
		MVP C2.3	3,71	2,51					0,1048	2,2384	-0,0015	45	37,13	2200	56,5	
MVP C3	Associado a desagregação granular de intensidade muito forte e plaquetas	MVP P3.1			3,23	2,16	67,0	1,02 9,06								
		MVP C3.1	2,30	2,55					0,0451	1,9923	-0,0014	83	11,28	3800	103,2	
		MVP C3.2	2,28	2,56					0,0500	1,7803				3900	65,2	
		MVP C3.3	2,22	2,55					0,0350	1,9539				3900	60,0	
		MVP P3.2			2,80	2,07	73,8	0,52- 1,55								
MVP C4	Associado a pedra com desagregação granular de intensidade forte	MVP C4.1	2,39	2,55					0,0542	2,2984				3100	50,7	
		MVP C4.2	2,55	2,55					0,0710	2,9870	-0,0019	47	30,00	3000	79,4	
		MVP C4.3	2,59	2,54					0,0644	2,7114				2900	55,7	
MVP C5	Associado a pedra com desagregação granular de intensidade forte	MVP C5.1	3,96	2,49					0,1487	2,3318	-0,0014	72	37,05	2500	46,6	
		MVP C5.2	4,02	2,48					0,1900	5,0395				2200	30,8	
		MVP C5.3	3,89	2,50					0,1550	5,3248				2100	54,3	
MVP C6	Associado a pedra com desagregação granular de intensidade forte	MVP P6.1			7,12	4,61	64,8	1,55 15,10								
		MVP C6.1	6,34	2,38					0,3367	5,3262				1500	31,7	
		MVP C6.2	6,82	2,36					0,3646	6,6379	-0,0019	24	127,43	1500	18,6	
		MVP C6.3	7,03	2,37					0,4342	5,9626				1200	27,3	
MVP C7	Associado a pedra com desagregação granular inexistente a fraca	MVP P7.1			3,66	2,42	66,0	0,61- 7,24								
		MVP C7.1	2,58	2,57					0,0562	2,6167				3000	76,5	
		MVP C7.2	2,93	2,52					0,0760	2,9019				2800	49,3	

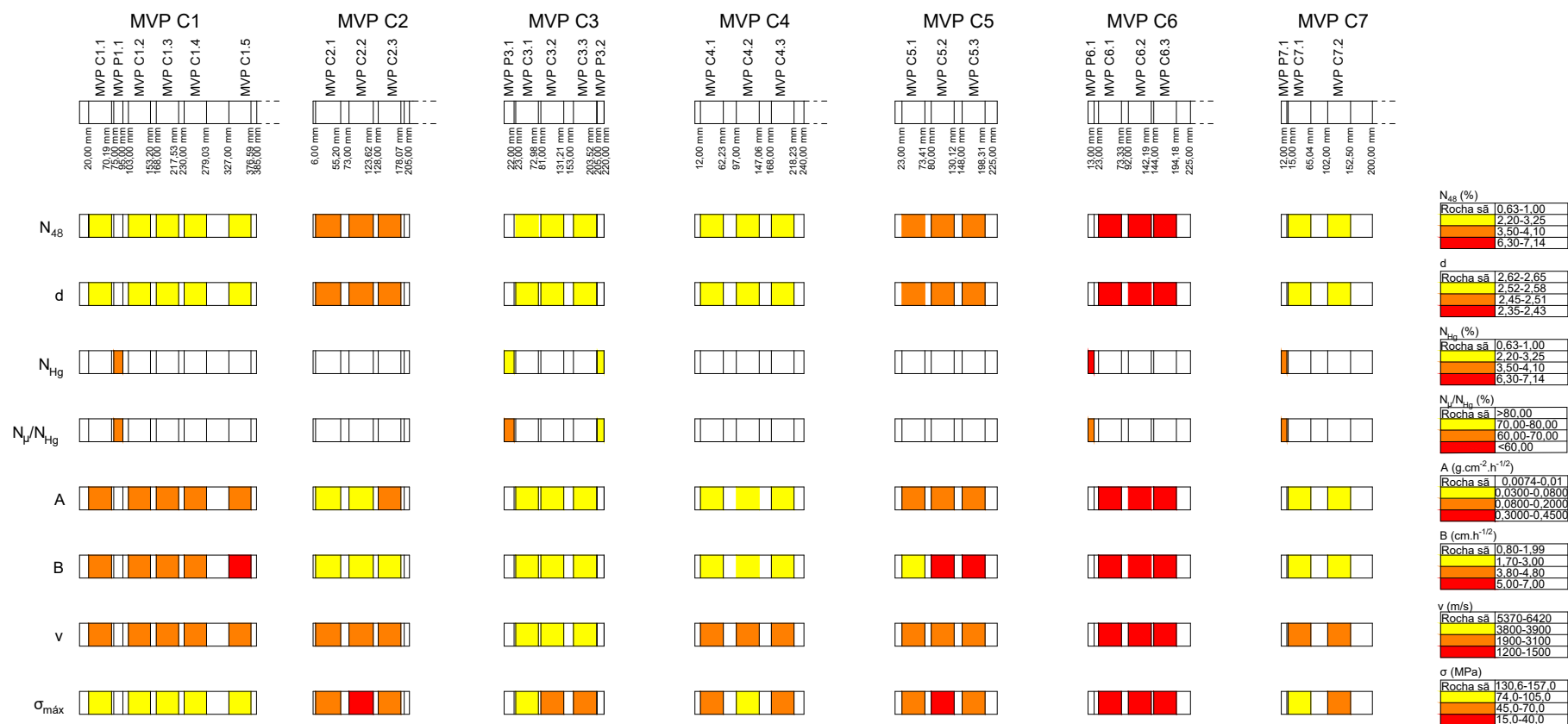


Figura 5.48: Resultados dos ensaios em cada tarolo, provete e amostra de porosímetro

Analisando os valores de todos os parâmetros apresentados na Tabela 5.32 e comparando com os obtidos por Begonha (1997, 2001) para a rocha sã de granito do Porto mostrados na Figura 5.48, constata-se que os valores obtidos nos tarolos extraídos no Museu do Vinho do Porto são muito diferentes dos obtidos para a rocha sã. Isto comprova que as pedras utilizadas na construção tinham graus de meteorização herdados da pedreira muito diferentes entre si e, por vezes, dentro da mesma pedra, podendo dever-se, por exemplo, a uma distância diferente de uma diáclase ou mesmo à sua inclusão. A título de exemplo, constatou-se durante a operação de extração do tarolo MVP C5, uma menor resistência ao corte no interior da pedra relativamente aos troços mais superficiais, que se traduziu numa menor resistência à compressão (Tabelas 5.26, 5.32 e Figura 5.48).

Conforme a Tabela 5.32, os valores da porosidade livre às 48 horas (2,22 % a 7,03 %), densidade aparente (2,36 a 2,57), coeficiente de capilaridade A ($0,0350 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$ a $0,4342 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$), coeficiente de capilaridade B ($1,7803 \text{ cm.h}^{-1/2}$ a $6,6379 \text{ cm.h}^{-1/2}$), fluxo de evaporação ($-0,0011 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ a $0,0020 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$), saturação crítica (24% a 83 %), tempo de saturação crítica (11,28 h a 127,43 h), velocidade de propagação dos ultrassons (1200 m/s a 3900 m/s), da resistência à compressão uniaxial (18,6 MPa a 103,2 MPa) integram-se nos valores obtidos para os provetes de perfis de meteorização de granito do Porto e pedras do Hospital de Santo António, Igreja de Santa Maria de Leça e casa na Rua de Santa Catarina referidos por Begonha (1997, 2001), Moutinho (2005) e Resende (2010) ($1,53 \% \leq N_{48} \leq 10,77 \%$; $2,34 \leq d \leq 2,62$; $0,0318 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2} \leq A \leq 0,546 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1/2}$; $2,2496 \text{ cm.h}^{-1/2} \leq B \leq 7,083 \text{ cm.h}^{-1/2}$; $0,0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1} \leq q \leq 0,0053 \text{ g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$; $45 \% \leq S_c \leq 71 \%$; $7,6 \text{ h} \leq t_{sc} \leq 195,2 \text{ h}$; $1300 \text{ m/s} \leq v \leq 5010 \text{ m/s}$ e $20,2 \text{ MPa} \leq \sigma_{\max} \leq 135,2 \text{ MPa}$).

Para além das consequências resultantes dos diferentes graus de meteorização herdados da pedreira referidos anteriormente, é de salientar, que os tarolos foram obtidos nas fachadas Sul e Norte e no muro de suporte adjacente à Muralha Fernandina (MVP C1) e, consequentemente, sujeitos à ação direta ou indireta dos agentes atmosféricos e da ocorrência das cheias do Rio Douro. Com efeito, a existência de rebocos muito deteriorados, juntas abertas e lacunas promovem a entrada de água através de fissuras e mesmo de juntas entre pedras, o que poderá justificar algumas variações nos resultados esperados.

A existência de elementos metálicos cravados nas pedras, a influência do peso das portas transmitido pelas dobradiças ou a existência de vigas metálicas apoiadas sobre ombreiras em pedra, são igualmente fatores a ter em consideração, uma vez que originam fissuras de grande abertura e microfissuração, conforme mostrou Silva (2012). Não se pode ainda desprezar o estado da cobertura ao longo do período de vida do edifício, promovendo a infiltração de água das chuvas, e a falta de utilização do próprio edifício.

Note-se, ainda, que, à exceção do tarolo MVP C1, extraído no muro de suporte adjacente à Muralha Fernandina, os restantes foram removidos paralelamente às fachadas, pelo que não pode ser rejeitado o facto de existir deterioração em profundidade perpendicularmente à fachada, seja do exterior para o interior, seja a partir do próprio interior do edifício. Com efeito, este serviu para depósito de bacalhau a partir de 1919, pelo que a permanência de grandes quantidades do sal cloreto de sódio (halite), comprovado pelo estudo por MEV, afetou decisivamente as pedras pelo interior.

Dados todos estes condicionantes, considerou-se benéfico e mais conclusivo, caracterizar os tarolos sem especificar o resultado dos ensaios para cada provete. Para tal, optou-se por atribuir, para cada tarolo, a cor correspondente ao pior resultado obtido para cada parâmetro nos provetes cilíndricos. Não se consideraram os resultados do porosímetro de mercúrio uma vez que só no tarolo MVP C3 se dispunha de dois resultados e nenhum nos tarolos MVP C2, MVP C4 e MVP C5. Deste modo, apresenta-se a Figura 5.49 onde, a par da figura anterior, são representados os vários tarolos recolhidos no edifício. A cada tarolo, está apenas associada a cor amarela, laranja ou vermelha em função do pior resultado de

cada ensaio. Atribuiu-se uma gama melhor, intermédia ou pior de valores, tendo como comparação os obtidos por Begonha (1997, 2001) para a rocha sã do granito do Porto.

Assim, o tarolo MVP C6 é o que regista os piores resultados em todos os parâmetros, seguido do tarolo MVP C5. Seguem-se o tarolo MVP C2 e, depois, MVP C1. Os tarolos MVP C4 e MVP C7 têm resultados semelhantes. O tarolo MVP C3 é o que apresenta melhores resultados.

No interior do edifício do Museu do Vinho do Porto e atendendo à avaliação sensorial das superfícies das pedras, exibindo desagregação forte a muito forte associada ou não a plaquetas, tudo indica que a ação do sal terá sido muito mais eficaz nos milímetros superficiais, não parecendo ter influenciado decisivamente em profundidade.

A atribuição da intensidade da desagregação granular pela cartografia das deteriorações em três graus, inexistente a fraca, média e forte, baseada numa avaliação sensorial que inclui a quantidade de material que cai pelo toque das superfícies com a mão, a observação da rugosidade da superfície e do adoçamento das formas e a perda de material pétreo ocorrido até então, tem significado. Com efeito, os intervalos de referência para a resistência à compressão uniaxial obtidos a partir do esclerómetro de Schmidt e definidos por Madureira (2008) ajustaram-se perfeitamente à cartografia. Para além disso, os valores médios para a resistência à compressão uniaxial em pedras com desagregação granular de intensidade forte ou média obtidos neste trabalho são muito semelhantes aos publicados por Madureira (2008) em pedras de granito do Porto aplicadas no Mosteiro da Serra do Pilar.

Em síntese, apresenta-se a Tabela 5.33 onde são enumeradas as causas das deteriorações do granito empregue no edifício do Museu do Vinho do Porto.

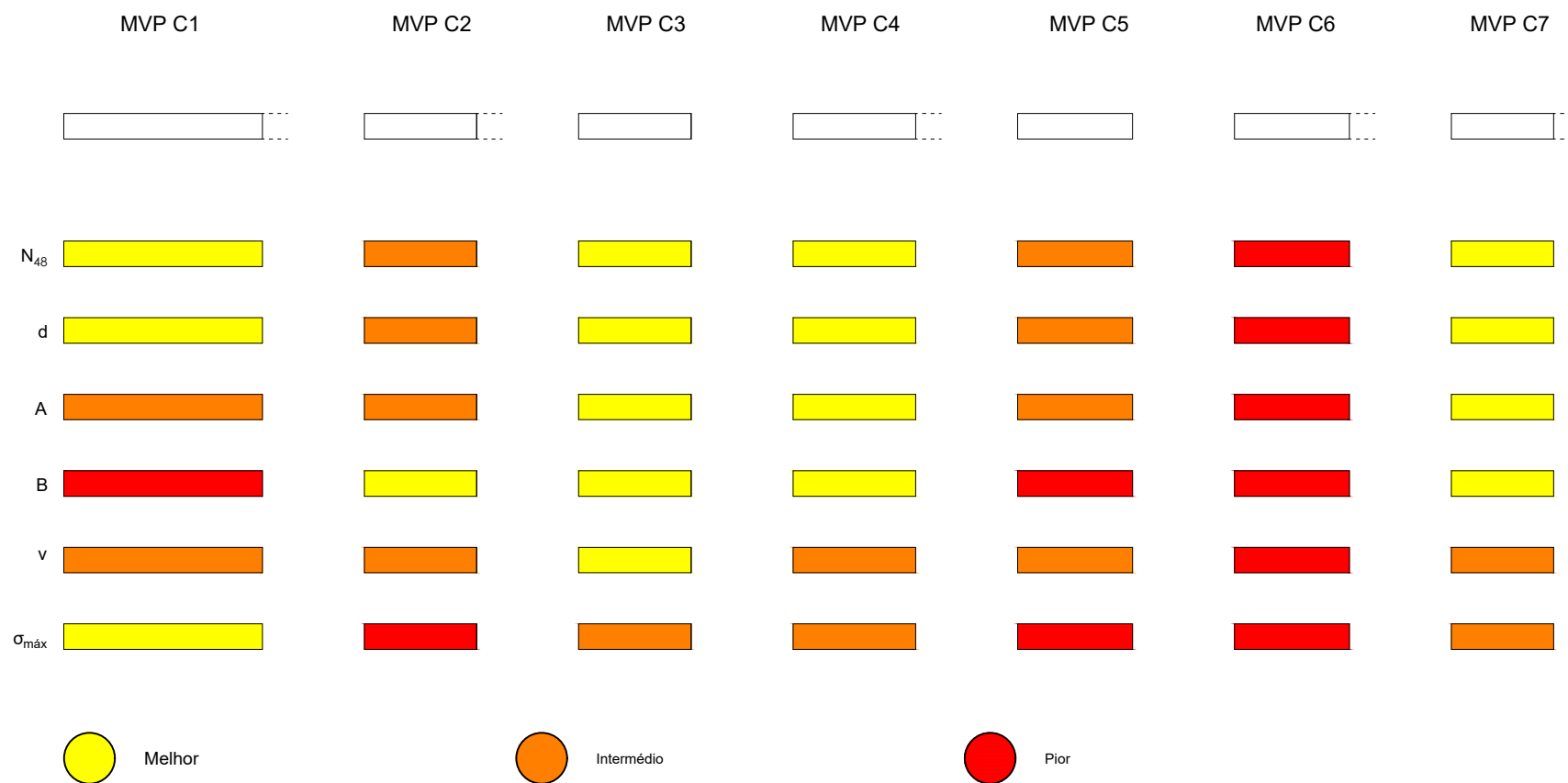


Figura 5.49: Classificação qualitativa dos resultados dos ensaios em cada tarolo

Tabela 5.33: Causas das deteriorações observadas no granito do Porto do Museu do Vinho do Porto

Causas	Efeitos
Pedras com diferentes graus de meteorização herdadas da pedreira	Pedras comportam-se de modo distinto em função da sua rede porosa, alterada pelo fenómeno da meteorização.
Cristalização de minerais de sais solúveis - causa direta da formação de desagregação granular e plaquetas	<p>Identificou-se principalmente a halite que terá origem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No armazenamento de bacalhau a partir de 1919 – fonte principal deste sal; - Nas águas das chuvas (associada à composição da água do mar); - Nevoeiros salinos; - Proximidade do Oceano Atlântico e do Rio Douro. <p>No exterior, verificou-se a presença de gesso em quantidade superior à observada em amostras do interior, proveniente de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Águas das chuvas (associada à poluição do ar e composição da água do mar). <p>O acesso dos sais é promovido por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contacto direto a partir do bacalhau (halite); - Transferência por capilaridade da água das chuvas sobre as fachadas e pela que se infiltra pela cobertura (halite e gesso); - Ascensão de água por capilaridade a partir do Rio Douro e de águas pluviais na Rua da Reboleira e Muro dos Bacalhoeiros (halite e gesso); - Existência de fissuras nas próprias pedras e/ou nas argamassas que as revestem (nomeadamente nas fachadas Norte e Sul) (halite e gesso); - Juntas abertas (halite e gesso). <p>A ação dos sais resulta da molhagem e secagem das pedras, promovendo ciclos de dissolução/cristalização, deliquescentia/cristalização e hidratação/desidratação, implicando o alargamento das fissuras e poros.</p>
Aplicação de argamassas de cimento nas juntas ou como revestimento	<p>Eflorescências – Estas argamassas possuem na sua composição iões sódio, sulfato e potássio que originam as eflorescências de mirabilite, thenardite e rara aptitalite sobre a superfície das mesmas;</p> <p>Desagregação granular – As argamassas contribuem com os iões sódio, sulfato e potássio na deterioração do granito do Porto, para além da halite e do gesso provenientes das águas da chuva.</p>
Cravação de peças metálicas na pedra	A oxidação de elementos metálicos é acompanhada da expansão dos mesmos, promovendo o aparecimento de fissuras na pedra. A existência de grandes quantidades de cloreto de sódio promove a corrosão generalizada das peças metálicas.
Vigas metálicas	Os esforços exercidos pelas vigas metálicas sobre as ombreiras promovem fissuração do material pétreo já de si mecanicamente debilitado pela ação da meteorização e deterioração pelos minerais de sais solúveis.

6

CONCLUSÕES

As pedras de granito do Porto empregues no edifício do Museu do Vinho do Porto apresentam-se muito deterioradas em muitos pontos, estando principalmente afetadas por desagregação granular intensa.

A cristalização do cloreto de sódio (halite) na rede porosa do granito do Porto, proveniente da conservação do bacalhau, está na origem da desagregação granular e plaquetas afetadas por desagregação granular.

No interior do edifício do Museu do Vinho do Porto e atendendo à avaliação sensorial das superfícies das pedras, exibindo desagregação forte a muito forte associada ou não a plaquetas, constata-se que a ação do sal parece ter sido muito mais eficaz nos milímetros superficiais, não tendo influenciado decisivamente em profundidade.

No exterior da edificação, a desagregação granular é devida não só ao transporte do bacalhau como também à ação nefasta das argamassas de cimento, águas das chuvas e nevoeiros salinos.

Os resultados dos ensaios mostram que os diversos parâmetros, incluindo a resistência à compressão uniaxial, variam muito de pedra para pedra e não tanto dentro de cada um dos tarolos, comprovando os diferentes graus de meteorização herdados das pedreiras.

Os valores para a porosidade livre às 48 horas (N_{48}), densidade aparente (d), porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}), coeficientes de capilaridade A e B, fluxo de evaporação (q), saturação crítica (S_c), tempo de saturação crítica (t_{sc}), velocidade de propagação dos ultrassons (v) e tensão de rotura à compressão uniaxial (σ_{max}), obtidos no granito do Porto empregue no Museu do Vinho do Porto, integram-se nos valores obtidos em perfis de meteorização de granito do Porto e em pedras de monumentos e edifícios onde foi empregue o mesmo granito.

A porosidade livre às 48 horas apresenta elevados coeficientes de correlação com a densidade aparente, o coeficiente de capilaridade A, o tempo de saturação crítica e a velocidade de propagação dos ultrassons nos provetes extraídos em pedras do Museu do Vinho do Porto.

Apesar da grande diferença de valores (18,6 MPa a 103,6 MPa nas pedras das fachadas e 74,1 MPa e 98,8 MPa no Muro de Suporte), a resistência à compressão uniaxial é superior à que seria de esperar, atendendo à fraca coesão das pedras à superfície, devido à desagregação granular de forte a muito forte intensidade associada ou não a plaquetas.

A atribuição da intensidade da desagregação granular pela cartografia das deteriorações em três graus, inexistente a fraca, média e forte, baseada numa avaliação sensorial, tem significado, como o comprovaram os resultados obtidos pelo esclerómetro de Schmidt.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida A. (2001). *Geochemical and geochronological characterization of the syntectonic two-mica granite of Porto (NW Portugal)*. In: Lago M., Arranz E. & Galé C. (Eds.), *Proceedings IIIer Congreso Ibérico de Geoquímica y VIIIo Congreso de Geoquímica de España*. Zaragoza. 311-315 pp.
- Alves, C. (1997). *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do Património Construído*. Tese de Doutoramento. Escola de Ciências. Universidade do Minho. Braga. 291 pp.
- Amoroso, G.G., Fassina, V. (1983). *Stone decay and Conservation*. Elsevier, Materials Science Monographs. 11. 453 pp.
- Angélico, M. J., Oliveira, R., Begonha, A. (2005). *Convento de São Gonçalo de Amarante: Avaliação da eficácia da aplicação num granito de dois produtos hidrófugos*. Artigo de Projecto da opção de Materiais e Processos de Construção da Licenciatura em Engenharia Civil. FEUP, Porto. 17 pp.
- Arnold, A. (1976). *Behaviour of some soluble salts in stone deterioration* in *Proceedings 2nd International Symposium on the Deterioration of Building Stones-Athens 1976*. 27-36 pp.
- Arnold, A. (1984). *Determination of mineral salts from monuments, Studies in Conservation*. vol. 29. 129–138 pp.
- Arnold, A., Kueng, A. (1985). *Crystallization and habits of salt efflorescences on walls – methods of investigation and habits*. *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Lausanne–1985*. 255–267 pp.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1985). *Crystallization and habits of salt efflorescences on walls II – conditions of crystallization*. *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Lausanne 1985*. 269-277 pp.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1987). *Monitoring wall paintings affected by soluble salts*. *Proceedings Symposium the Conservation of Wall Paintings-London 1987*. Eds. Sharon Cather. Courtauld Institute of Art. Getty Conservation Institute. London. 103–135 pp.
- ASTM – American Society for Testing and Materials, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, D5873-05. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 6 pp.
- Begonha A., Jeannette, D., Hammecker, C., Sequeira Braga, M.A. (1994). *Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments*. In: Fassina V., Ott H. & Zezza F. (Eds.), *Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo*, Venezia. 541–546 pp.
- Begonha, A. (1997). *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Braga. 393 pp.
- Begonha, A. (2000). *Estudo da patologia da pedra do Mosteiro de São Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto*. Porto. 73 pp.
- Begonha, A. (2001). *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. FEUP-Edições, Coleção Monografias 2. 445 pp.
- Begonha, A. (2002). *Igreja de São João de Tarouca: Estudo da Deterioração da Pedra*. Porto. 68 pp.

- Begonha, A. (2003a). *Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*. Porto. 52 pp.
- Begonha, A. (2003b). *Estudo da aplicação de consolidantes em pedras da Igreja de São Pedro de Rates*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 66 pp.
- Begonha, A. (2003c). *Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 74 pp.
- Begonha, A. (2003d). *Chafariz de Caminha: Estudo da deterioração e do tratamento da pedra*. Porto. 30 pp.
- Begonha, A. (2004). *Convento de São Gonçalo de Amarante: Estudo diagnóstico e proposta de tratamento da pedra*. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas. FEUP, Porto. 135 pp.
- Begonha, A. (2005). *Patologia da pedra na fachada principal da Igreja de Nossa Senhora da Lapa: Diagnóstico e proposta de tratamento*. Porto. 87 pp.
- Begonha, A. (2006). *Patologia da pedra do Palácio da Bolsa no Porto: Diagnóstico e proposta de tratamento*. Porto. 50 pp.
- Begonha, A. (2009b). *Deterioração do granito na Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto*. Proceedings 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios PATORREB 2009. Porto. 2009. Vol II. 807-812 pp.
- Begonha, A. (2009c). *Hospital de Santo António: Estudo mineralógico da deterioração do granito nos Elementos Decorativos da Cobertura*. Porto. 44 pp.
- Begonha, A. (2012). *Comportamento da pedra como material de paramento* in Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Ed. Ordem dos Engenheiros da Região Norte. Coordenação de V.P. Freitas. 170-192 pp .
- Begonha, A., Costa Leite, A. L., Madureira, M. C. V., Bré, J. M. (2011). *Mineralogical study by SEM and XRD of efflorescence in four granitic monuments in the Oporto Metropolitan area*. Proceedings with full papers CD ROM do 13th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Ljubljana 2011. Eds. Alenka Mauko, Tadeja Kosec, Tinkara Kopar, Nina Gartner. Artigo 550. 15 pp.
- Begonha, A., Novais, H. (2011). *Estudo das deteriorações da pedra no Mosteiro de Travanca: Relatório Final*. Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção LEMC, FEUP. Relatório Nº 11/003. Porto. 100 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1993). *Stone weathering and deterioration in a granitic monument*. Proceedings ISRM International Symposium on Safety and Environmental Issues in Rock Engineering EUROCK'93 – Lisboa 1993. Eds. Ribeiro e Sousa L. & Grossmann N. F. Balkema. Rotterdam. 267–274 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1996a). *Characterization of black crusts and thin black layers in granitic monuments: the role of air pollution*. In Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report Nº. 5. 121-126 pp.

- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (1996b). *Black crusts and thin black layers in granitic monuments: their characterization and the role of air pollution* in Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996. Ed. Josef Riederer, vol. 1. Berlin. 371-375 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A. (2002). *Weathering of the Oporto granite: geotechnical and physical properties*. Catena, 49, 1-2. 57-76 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A., Gomes Da Silva, F. (1995). *A acção da água da chuva na meteorização de monumentos graníticos* in Proceedings IV Congresso Nacional de Geologia-Porto 1995. Coord. F. Sodré Borges e M.M. Marques. Universidade do Porto - Faculdade de Ciências - Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Memórias, N.º. 4. 177-181 pp.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M. A., Gomes Da Silva, F. (1996). *Rain water as source of the soluble salts responsible for stone decay in the granitic monuments of Oporto and Braga – Portugal*. Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996. Berlin. Ed. Josef Riederer. vol. 1. 481-487 pp.
- Begonha, A., Teles M. (2000). *Study of stone deterioration in the Palácio do Freixo in Oporto*. Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venezia. Ed. Vasco Fassina. Volume 2. 593-601 pp.
- Bré, J. M. (2008). *Capela do Senhor da Pedra: Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra*. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia. Instituto Politécnico do Porto. Porto. 144 pp.
- Cardoso, F. S. (2008). *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Paço de Sousa – Proposta de tratamento*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto. 108 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1988). *Étude du nettoyage d' un monument en granite*. LNEC, Memória, N.º. 715. Lisboa. 10 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1990). *Estudos relativos à alteração e à conservação do granito do claustro do Mosteiro de Grijó, em Vila Nova de Gaia*. Relatório 243/90 - GERO/NQ. Lisboa. 41 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1991a). *Estudo relativo à acção dos pombos sobre a pedra das igrejas do Carmo e dos Carmelitas, no Porto, e de São Gonçalo, em Amarante*. Relatório 44/91 GERO/NQ. Lisboa. 27 pp.
- Castro, E., Delgado Rodrigues, J., Cravo, M. R. T. (1991b). *Estudo relativo à alteração e à conservação do granito da Torre dos Clérigos, no Porto*. Relatório 70/91 - GERO/NQ. Lisboa. 18 pp.
- Costa Leite, A. L. F. (2008). *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento*. Tese de Mestrado. Universidade do Porto. Porto. 178 pp.
- Costa, D. M. R. (2007). *Avaliação de tratamentos para a conservação de superfícies graníticas arenizadas*. Tese de Especialista do LNEC. LNEC, Lisboa. 217 pp.
- Delgado Rodrigues, J. (1978). *Some problems raised by the study of the weathering of igneous rocks* in Proceedings Colloque International UNESCO – RILEM. Altération et Protection des Monuments en Pierre-Paris 1978. 16 pp.
- Delgado Rodrigues, J., Costa, D. (2000). “Parecer sobre a conservação do Mosteiro de Tibães. Relatório 61/00 – GERO. Lisboa. 26 pp.
- Delgado Rodrigues, J., Moura, M. R. M., Soares Da Silva, J. C. (1994). *Limpeza da Torre dos Clérigos - estudos realizados e trabalhos executados*. Monumentos, N.º. 1. 68-75 pp.

- Dullien, F. A. L. (1979). *Porous media – fluid transport and pore structure*. Academic Press, Inc., Second Edition, 1992. 574 pp.
- Ferreira Pinto, A. P. (1993). *Conservação de pedras graníticas. Estudo da acção de hidrófugos*. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 345 pp.
- Ferreira, J. F. O. (2004). *Caracterização da Acção da Água em Edifícios de Pedra*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Guimarães. 177 pp.
- Ferreira, N.; Iglesias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M.L. (1987). *Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. In Libro Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola, (ed. Rueda), Madrid. 37-51pp.
- Fitzner, B. (1990). *Mapping of natural stone monuments – documentation of lithotypes and weathering forms*. Proceedings Advanced Workshop Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones-Pavia 1990.
- Fitzner, B., Heinrichs, K. (1991). *Weathering forms and rock characteristics of historical monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan*. Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989. Eds. N.S. Baer, C. Sabbioni, A.I. Sors. Commission of the European Communities, Butterworth – Heinemann. Oxford. 908–911 pp.
- Fitzner, B., Heinrichs, K. (1994). *Damage diagnosis at monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan*. Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo–Venezia 199. Eds. V. Fassina, H. Ott, F. Zezza. Venezia. 663–671 pp.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R. (1992). *Classification and mapping of weathering forms*. Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Lisboa 1992. Eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques, F. Telmo Jeremias. LNEC. Vol. 2. Lisboa. 957–968 pp.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., Volker, M. (1996). *Monument mapping – a contribution to monument preservation*. Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments–Bari 1996. Ed. F. Zezza. Protection and Conservation of European Cultural Heritage. Research Report Nº. 4. 347–355 pp.
- Fojo, A. C. O. T. (2006). *Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz de Caminha*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto. 446 pp.
- Freitas E. A. C. (1999). *Toponímia portuense*. Contemporânea Editora. Porto. 356 pp.
- Google Earth (Versão 7.1.8.3036). [Software]. Mountain View, CA. Google Inc. (janeiro, 2017).
- Hammecker C. (1993). *Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en oeuvre*. Tese de Doutoramento. Université Louis Pasteur de Strasbourg. Strasbourg. 254 pp.
- ICOMOS – International Council on Monuments and Sites, 2016. – *Glossário ilustrado das formas de deterioração da pedra*. Monuments and sites 15 – International Scientific Committee for Stone (ISCS), Paris. English-Portuguese Version / Versão Inglês-Português. Tradução portuguesa da versão Inglês-Francês de 2008 por José Delgado Rodrigues e Maria João Revez. 83 pp.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks . In: Brown E. T. (Eds.), *Rock Characterization Testing and Monitoring by ISRM Suggested Methods*. London, England. 97-103 pp.


- Jornal de Notícias. (2010). *Governo deixa morrer Centro de Artes Tradicionais*. Disponível em <http://www.jn.pt/local/noticias/porto/porto/interior/governo-deixa-morrer-centro-de-artes-tradicionais-1736858.html>. Retirado a 14 de Junho, 2017
- Machado J. A. (1987). O Centro Regional de Artes Tradicionais. Artigo publicado na revista O Tripeiro. Ano VI, nº 1-2, Janeiro e Fevereiro. Associação Comercial do Porto. 384 pp.
- Madureira, M. C. V. (2008). *Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra do Mosteiro da Serra do Pilar*. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia. Instituto Politécnico do Porto. Porto. 200 pp.
- Malheiro, G., Barbosa, R., Begonha, A. (2004). *Deterioração da pedra do Convento de São Gonçalo de Amarante*. Artigo de Projecto da opção de Materiais e Processos de Construção da Licenciatura em Engenharia Civil. FEUP, Porto. 17 pp.
- Mertz, J.D. (1991). *Structures de porosité et propriétés de transport dans les grés*. Dissertação de Doutoramento, Université Louis Pasteur de Strasbourg, Sciences Géologiques, 90, Strasbourg, 149 pp.
- Moutinho, A. M. (2005). *Estudo da deterioração da pedra da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Contributo para o ensino das geociências*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto, Porto. 304 pp.
- Noronha, F.; Ramos, J.M.F.; Rebelo, J.A.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M.L. (1979). *Essai de corrélation des phases de déformation Hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal. vol. XXI. fasc. II-III. 227-237 pp.
- NP EN 1926, 2008 – *Métodos de ensaio para pedra natural: Determinação da resistência à compressão uniaxial*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 21 pp.
- Real, M.L.; Távora, M.J.; Pinto Osório, M.I. e Teixeira, F.F., (1985-86) - "Escavações arqueológicas no Morro da Sé" - *Boletim Cultural da Câmara Municipal do Porto*, 2ª Série, vol. 3/4. 7-44 pp.
- Resende, J.A.M. (2010). *Análise dos efeitos de produtos preventivos e correctivos anti-graffiti no granito do Porto*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Guimarães. 266 pp.
- Sequeira Braga M. A., Paquet H., Begonha A. (2002). *Weathering of granites in a temperate climate (NW Portugal): granitic saprolites and arenization*. Catena, 49. 1-2. 41–56 pp.
- Sequeira Braga, M. A., Alves, C., Begonha, A., Gomes Da Silva, F. (1996). *Industrial and urban pollution impact in Portuguese monuments: comparative study between two regions* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. 127-132 pp.
- Silva, A. (2012). *Estudo diagnóstico, cartografia e proposta de tratamento das deteriorações do granito do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Viana do Castelo*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Opção de Materiais e Processos de Construção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 326 pp.
- Sousa, G. (2009). *Influência das argamassas sobre o granito em cantarias e alvenarias*. Tese de Mestrado. Universidade do Porto. Porto. 293 pp.
- Steiger, M., Zeunert, A. (1996). *Crystallization properties of salt mixtures: comparison of experimental results and model calculations*. Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone–Berlin 1996. Berlin. Ed. Josef Riederer. vol. 1. 535–544 pp.

Teles M., Begonha A. (1999). *Parecer sobre o estado de conservação da pedra do Palácio do Freixo*. Porto. 39 pp.

Vicente, M. A. (1996). *Final report 1991-1994 - Project STEP-CT90-0101 - Granitic materials and historical monuments: study of the factors and mechanisms of weathering and application to historical heritage conservation* in Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994. Eds. M. A. Vicente, J. Delgado Rodrigues, J. Acevedo. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5. 1-44 pp.

**ANEXO A1 – AUTORIZAÇÃO PARA TRANSFORMAÇÃO EM
ARMAZÉM DE DEPÓSITO DE BACALHAU**

389
Jfi



Registo
n.º 644
21-2-1919
CMP
AG

Para entrar no Cofre Municipal da quantia de
R\$ 3,00, constante da informação
da Guia n.º 88 que nesta data
está na Thesouraria.
Exma Camara
Municipal do Porto
13 de Março de 1919
Aguardado
am

Domingos Gonçalves de Sá & Filhos, estabelecidos na
rua de S. João n.º 116, carecem autorização de V. Ex.ª para
transformar a casa de habitação da rua da Reboleira n.º 33
a 37 e Cima do Muro n.º 134 a 138, em armazem para
depósito de bacalhau, de harmonia com os desenhos juntos.
Os compartimentos existentes são todos demolidos, su-
bhaindo-se de novo e substituíndo-se algumas travessas ficando
todos os pavimentos amplos. A escada é construída de
novo e os tapamentos correspondentes a esta, para evi-
tar a comunicação directa nos diversos andares, como
se vê nos desenhos a carmin. Serão colocadas duas vi-
gas de ferro I de 0,30 de altura em sentido longitudinal, em com-
primentos de 4,35 e emendadas no premo das columnas
levando tres em cada pavimento, oferecendo assim
4.2000 kilos por metro quadrado de pavimento-resisten-
cia superior á que é precisa em vista dos bons traveja-
mentos de castanho que ali existem.
Carecendo mais fazer diversos reparos nas paredes e telhados.
Solicita de V. Ex.ª a aprovação destes e a competente
licença como requer. Porto 6 de Fevereiro 81-1919
Domingos Gonçalves de Sá & Filhos
13 Março 1919

66

R.E.
REPARTIÇÃO
Registo, 66
6-2-1919

DEFERIDO nos ter-
mos da informação
Prelim. em sessão da Comissão Fiscaliz.
= 20 de Janeiro 1919

Mary F. J. J. J.

Ra.

(Modelo F)

Registo

N.º 66 R.E.

Data 6-2-919

Licença

N.º

Data



Câmara Municipal do Porto

3.ª Repartição — Obras Públicas

OBRAS DIVERSAS

Especificação da obra: *transformação de prédio*

Requerente:

Domingos Gonçalves de Sá & F.ª

Morada:

Situação da obra: *rua da Reboleira e Cima da Moura*

Responsável:

Está nos casos do art. do Cod. de Post.

Declaração de responsabilidade:

Projecto da obra:

COMISSÃO DE ESTÉTICA

CIDADE DO PORTO

Sessão de 17 de Fev. de 1919

Secretário

Assinado

Assinado

Assinado

Assinado

Condições a impôr:

Alinhamento: _____

Nível de soleiras: _____

Depósito: *5.000* _____

Licença: *1.000* _____

Observações:

*Informo que o predito está em bom
estado de conservação.*

18-22-217 @ Eng.º Clff

Admiral

Câmara Municipal da Cidade do Porto

ANO CIVIL DE 1919

Guia de entrada de depósito N.º 88

Despacho de 20 de Fevereiro de 1919

Dinheiro corrente...	53 00
Papeis de crédito...	3 50
Total Esc...	56 50

Pela presente guia vai Domingos Gonçalves de Sá e Têbas entrar no Cofre desta Municipalidade com a quantia de cinco mil e seiscentos e cinquenta réis.

como depósito de garantia ás condições e em que lhe foi concedida a licença n.º 21 d'esta data, para transformar a sua habitação sita na rua da Reboleira, 33 e 35, também para fazer a casa de Moura, 134 e 138.

quantia de que o respectivo tesoureiro passará o competente recibo.

Porto e Repartição de Fazenda Municipal, 13 de Março de 1919

O Chefe dos Serviços de Fazenda,

Frederico Carlos

Recobi a quantia de cinco mil e seiscentos e cinquenta réis supra mencionada.

Tesouraria Municipal do Porto, em 13 de Março de 1919

Registada

Em 13 de Março de 1919

O Tesoureiro,

Alfredo

Frederico Carlos

(Modelo G)



N.º 393
8187

2.ª Secção

Municipalidade do Porto

Concede-se licença a

Domingo Gonçalves de Sá

para que possa transformar o seu prédio situado na rua da Reboleira, 33 a 37, com frente também para a rua do Moura, 454 a 458, conforme o projecto que lhe foi aprovado em 20 de fevereiro ultimo.

Pôrto e Paços do Concelho, 13 de Março de 1919

(a) Manuel Soares de Paiva, 1.º oficial
fido

Engenheiro Chefe da 3.ª Repartição, subscrevi.

O Presidente, R. A. de Sá

J. A. Marques Lages

Desta, emolumentos para a
Câmara . . . 1.000
Impresso . . . 803
1.803

(a) Alvará

Registada.

J. A. Marques Lages

Depositou na tesouraria da Câmara a quantia de cinco escudos
conforme a guia n.º 88

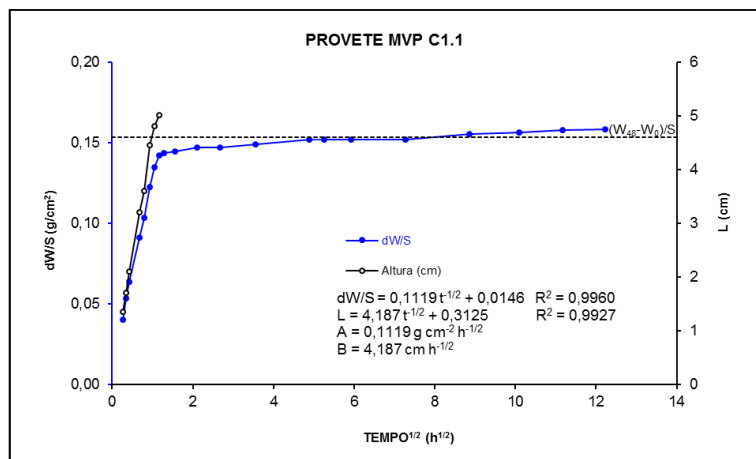
**ANEXO A2 – RESULTADOS DO ENSAIO DA ABSORÇÃO DE
ÁGUA POR CAPILARIDADE**

Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C1.1

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
8,00	53,00	18,00	1,00	2017,00	245,58	0,200	0,00	0,00	0,00
8,00	57,00	18,00	1,00	2017,00	246,36	1,350	4,00	0,26	0,04
9,00	0,00	18,00	1,00	2017,00	246,61	1,700	7,00	0,34	0,05
9,00	4,00	18,00	1,00	2017,00	246,81	2,100	11,00	0,43	0,06
9,00	20,00	18,00	1,00	2017,00	247,34	3,200	27,00	0,67	0,09
9,00	31,00	18,00	1,00	2017,00	247,58	3,600	38,00	0,80	0,10
9,00	46,00	18,00	1,00	2017,00	247,94	4,450	53,00	0,94	0,12
10,00	0,00	18,00	1,00	2017,00	248,18	4,810	67,00	1,06	0,13
10,00	16,00	18,00	1,00	2017,00	248,32	5,019	83,00	1,18	0,14
10,00	31,00	18,00	1,00	2017,00	248,35		98,00	1,28	0,14
11,00	19,00	18,00	1,00	2017,00	248,37		146,00	1,56	0,14
13,00	18,00	18,00	1,00	2017,00	248,42		265,00	2,10	0,15
16,00	0,00	18,00	1,00	2017,00	248,42		427,00	2,67	0,15
21,00	30,00	18,00	1,00	2017,00	248,46		757,00	3,55	0,15
8,00	44,00	19,00	1,00	2017,00	248,51		1431,00	4,88	0,15
12,00	37,00	19,00	1,00	2017,00	248,51		1664,00	5,27	0,15
20,00	0,00	19,00	1,00	2017,00	248,51		2107,00	5,93	0,15
13,00	45,00	20,00	1,00	2017,00	248,51		3172,00	7,27	0,15
15,00	22,00	21,00	1,00	2017,00	248,58		4709,00	8,86	0,16
14,00	51,00	22,00	1,00	2017,00	248,60		6118,00	10,10	0,16
13,00	43,00	23,00	1,00	2017,00	248,63		7490,00	11,17	0,16
14,00	33,00	24,00	1,00	2017,00	248,64		8980,00	12,23	0,16

Dados do provete MVP C1.1

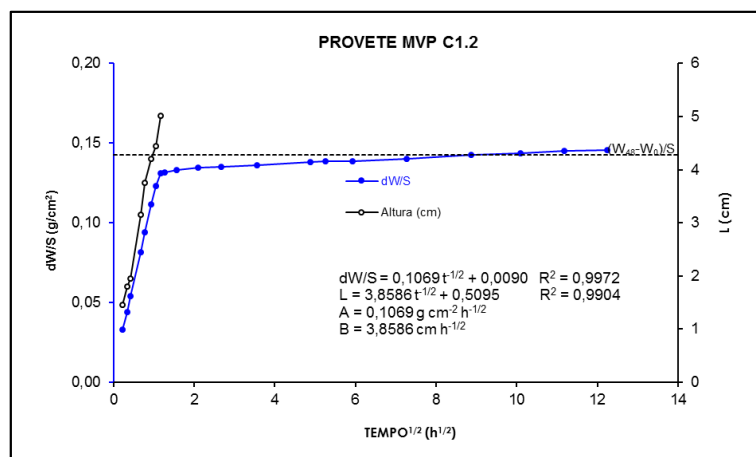
Peso (g)	245,58
Secção (cm ²)	19,31
Altura (cm)	5,019
Porosidade livre (%)	2,49



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C1.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{1/2}	dW/S
8,00	54,00	18,00	1,00	2017,00	245,90	0,200	0,00	0,00	0,00
8,00	57,00	18,00	1,00	2017,00	246,54	1,450	3,00	0,22	0,03
9,00	1,00	18,00	1,00	2017,00	246,75	1,800	7,00	0,34	0,04
9,00	5,00	18,00	1,00	2017,00	246,94	1,950	11,00	0,43	0,05
9,00	21,00	18,00	1,00	2017,00	247,48	3,150	27,00	0,67	0,08
9,00	31,00	18,00	1,00	2017,00	247,72	3,750	37,00	0,79	0,09
9,00	47,00	18,00	1,00	2017,00	248,06	4,200	53,00	0,94	0,11
10,00	1,00	18,00	1,00	2017,00	248,28	4,450	67,00	1,06	0,12
10,00	17,00	18,00	1,00	2017,00	248,43	5,020	83,00	1,18	0,13
10,00	32,00	18,00	1,00	2017,00	248,44		98,00	1,28	0,13
11,00	20,00	18,00	1,00	2017,00	248,47		146,00	1,56	0,13
13,00	18,00	18,00	1,00	2017,00	248,50		264,00	2,10	0,13
16,00	1,00	18,00	1,00	2017,00	248,51		427,00	2,67	0,14
21,00	31,00	18,00	1,00	2017,00	248,53		757,00	3,55	0,14
8,00	45,00	19,00	1,00	2017,00	248,57		1431,00	4,88	0,14
12,00	37,00	19,00	1,00	2017,00	248,58		1663,00	5,26	0,14
20,00	1,00	19,00	1,00	2017,00	248,58		2107,00	5,93	0,14
13,00	46,00	20,00	1,00	2017,00	248,61		3172,00	7,27	0,14
15,00	23,00	21,00	1,00	2017,00	248,65		4709,00	8,86	0,14
14,00	52,00	22,00	1,00	2017,00	248,67		6118,00	10,10	0,14
13,00	44,00	23,00	1,00	2017,00	248,70		7490,00	11,17	0,15
14,00	34,00	24,00	1,00	2017,00	248,71		8980,00	12,23	0,15

Dados do provete MVP C1.2

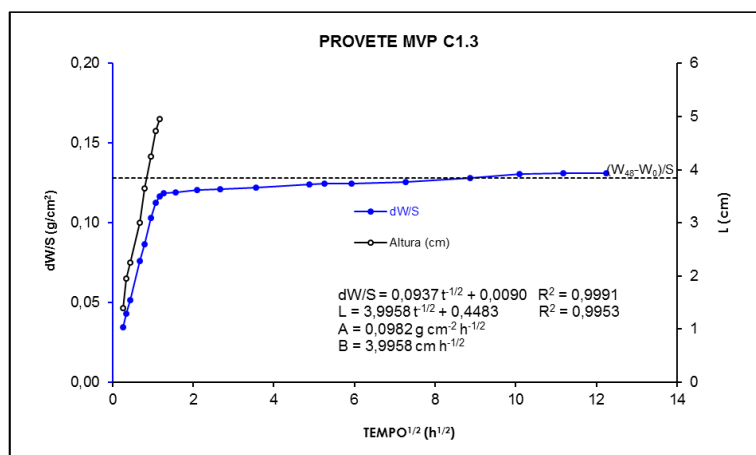
Peso (g)	245,90
Secção (cm ²)	19,31
Altura (cm)	5,020
Porosidade livre (%)	3,13



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C1.3									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
8	54	18	1	2017	241,75	0,200	0,00	0,00	0,00
8	58	18	1	2017	242,41	1,400	4,00	0,26	0,03
9	1	18	1	2017	242,58	1,950	7,00	0,34	0,04
9	6	18	1	2017	242,74	2,250	12,00	0,45	0,05
9	21	18	1	2017	243,21	3,000	27,00	0,67	0,08
9	32	18	1	2017	243,42	3,650	38,00	0,80	0,09
9	48	18	1	2017	243,73	4,250	54,00	0,95	0,10
10	2	18	1	2017	243,92	4,727	68,00	1,06	0,11
10	17	18	1	2017	243,99	4,953	83,00	1,18	0,12
10	32	18	1	2017	244,03		98,00	1,28	0,12
11	20	18	1	2017	244,04		146,00	1,56	0,12
13	19	18	1	2017	244,07		265,00	2,10	0,12
16	2	18	1	2017	244,08		428,00	2,67	0,12
21	32	18	1	2017	244,10		758,00	3,55	0,12
8	46	19	1	2017	244,14		1432,00	4,89	0,12
12	38	19	1	2017	244,15		1664,00	5,27	0,12
20	1	19	1	2017	244,15		2107,00	5,93	0,12
13	47	20	1	2017	244,17		3173,00	7,27	0,13
15	24	21	1	2017	244,22		4710,00	8,86	0,13
14	52	22	1	2017	244,26		6118,00	10,10	0,13
13	45	23	1	2017	244,27		7491,00	11,17	0,13
14	36	24	1	2017	244,27		8982,00	12,23519514	0,131001344

Dados do provete MVP C1.3

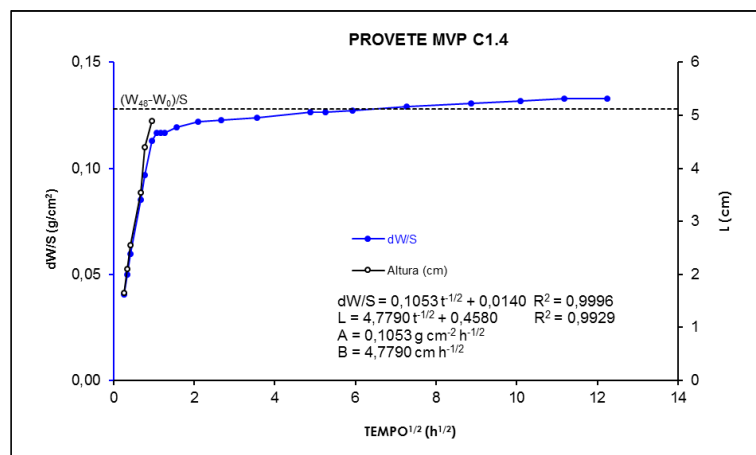
Peso (g)	241,75
Secção (cm ²)	19,24
Altura (cm)	4,953
Porosidade livre (%)	3,13



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C1.4									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
8	55	18	1	2017	238,73	0,200	0,00	0,00	0,00
8	59	18	1	2017	239,51	1,650	4,00	0,26	0,04
9	2	18	1	2017	239,69	2,100	7,00	0,34	0,05
9	6	18	1	2017	239,88	2,550	11,00	0,43	0,06
9	22	18	1	2017	240,37	3,550	27,00	0,67	0,09
9	32	18	1	2017	240,60	4,400	37,00	0,79	0,10
9	49	18	1	2017	240,91	4,903	54,00	0,95	0,11
10	3	18	1	2017	240,98		68,00	1,06	0,12
10	18	18	1	2017	240,98		83,00	1,18	0,12
10	33	18	1	2017	240,98		98,00	1,28	0,12
11	21	18	1	2017	241,03		146,00	1,56	0,12
13	19	18	1	2017	241,08		264,00	2,10	0,12
16	3	18	1	2017	241,10		428,00	2,67	0,12
21	33	18	1	2017	241,12		758,00	3,55	0,12
8	46	19	1	2017	241,17		1431,00	4,88	0,13
12	38	19	1	2017	241,17		1663,00	5,26	0,13
20	2	19	1	2017	241,18		2107,00	5,93	0,13
13	48	20	1	2017	241,22		3173,00	7,27	0,13
15	25	21	1	2017	241,25		4710,00	8,86	0,13
14	53	22	1	2017	241,27		6118,00	10,10	0,13
13	46	23	1	2017	241,29		7491,00	11,17	0,13
14	36	24	1	2017	241,29		8981,00	12,23	0,13

Dados do provete MVP C1.4

Peso (g)	238,73
Secção (cm ²)	19,28
Altura (cm)	4,903
Porosidade livre (%)	3,13

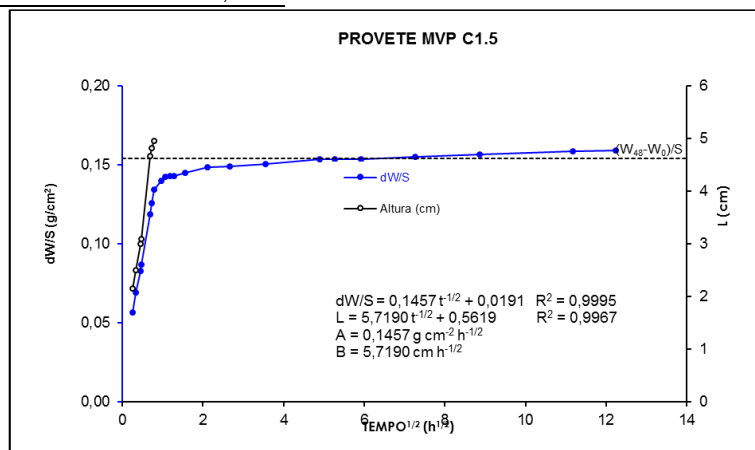


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C1.5

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
8	55	18	1	2017	241,09	0,20	0,00	0,00	0,00
8	59	18	1	2017	242,18	2,15	4,00	0,26	0,06
9	2	18	1	2017	242,43	2,50	7,00	0,34	0,07
9	7	18	1	2017	242,69	3,00	12,00	0,45	0,08
9	8	18	1	2017	242,77	3,10	13,00	0,47	0,09
9	23	18	1	2017	243,38	4,68	28,00	0,68	0,12
9	27	18	1	2017	243,52	4,83	32,00	0,73	0,13
9	33	18	1	2017	243,68	4,96	38,00	0,80	0,13
9	50	18	1	2017	243,79		55,00	0,96	0,14
10	3	18	1	2017	243,84		68,00	1,06	0,14
10	19	18	1	2017	243,85		84,00	1,18	0,14
10	33	18	1	2017	243,85		98,00	1,28	0,14
11	21	18	1	2017	243,89		146,00	1,56	0,15
13	20	18	1	2017	243,95		265,00	2,10	0,15
16	3	18	1	2017	243,96		428,00	2,67	0,15
21	34	18	1	2017	243,99		759,00	3,56	0,15
8	47	19	1	2017	244,05		1432,00	4,89	0,15
12	39	19	1	2017	244,05		1664,00	5,27	0,15
20	3	19	1	2017	244,05		2108,00	5,93	0,15
13	49	20	1	2017	244,08		3174,00	7,27	0,16
15	26	21	1	2017	244,11		4711,00	8,86	0,16
13	46	23	1	2017	244,15		7491,00	11,17	0,16
14	37	24	1	2017	244,16		8982,00	12,24	0,16

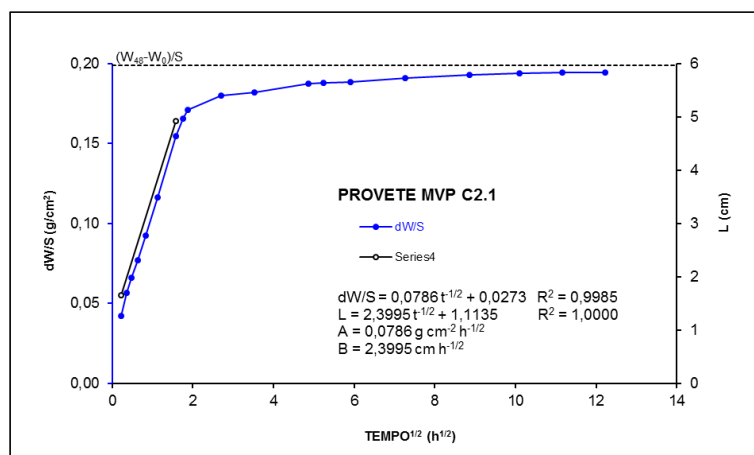
Dados do provete MVP C1.5

Peso (g)	241,09
Secção (cm ²)	19,26
Altura (cm)	4,96
Porosidade livre (%)	3,13



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C2.1									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9,00	10,00	18,00	1,00	2017,00	234,73	0,20	0,00	0,00	0,00
9,00	13,00	18,00	1,00	2017,00	235,55	1,65	3,00	0,22	0,04
9,00	18,00	18,00	1,00	2017,00	235,83	0,00	8,00	0,37	0,06
9,00	24,00	18,00	1,00	2017,00	236,01	0,00	14,00	0,48	0,07
9,00	34,00	18,00	1,00	2017,00	236,22	0,00	24,00	0,63	0,08
9,00	51,00	18,00	1,00	2017,00	236,52	0,00	41,00	0,83	0,09
10,00	25,00	18,00	1,00	2017,00	236,98	0,00	75,00	1,12	0,12
11,00	41,00	18,00	1,00	2017,00	237,73	4,92	151,00	1,59	0,15
12,00	16,00	18,00	1,00	2017,00	237,94		186,00	1,76	0,17
12,00	40,00	18,00	1,00	2017,00	238,04		210,00	1,87	0,17
16,00	30,00	18,00	1,00	2017,00	238,22		440,00	2,71	0,18
21,00	35,00	18,00	1,00	2017,00	238,26		745,00	3,52	0,18
8,00	48,00	19,00	1,00	2017,00	238,36		1418,00	4,86	0,19
12,00	40,00	19,00	1,00	2017,00	238,37		1650,00	5,24	0,19
20,00	4,00	19,00	1,00	2017,00	238,38		2094,00	5,91	0,19
13,00	50,00	20,00	1,00	2017,00	238,43		3160,00	7,26	0,19
15,00	27,00	21,00	1,00	2017,00	238,47		4697,00	8,85	0,19
14,00	55,00	22,00	1,00	2017,00	238,49		6105,00	10,09	0,19
13,00	47,00	23,00	1,00	2017,00	238,50		7477,00	11,16	0,19
14,00	39,00	24,00	1,00	2017,00	238,50		8969,00	12,23	0,19

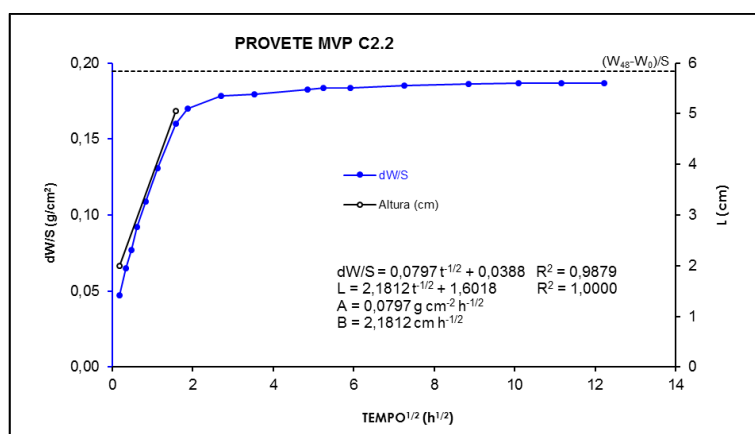
Dados do provete MVP C2.1	
Peso (g)	234,73
Secção (cm ²)	19,36
Altura (cm)	4,92
Porosidade livre (%)	2,57



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C2.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	11	18	1	2017	243,99	0,20	0,00	0,00	0,00
9	13	18	1	2017	244,90	2,00	2,00	0,18	0,05
9	18	18	1	2017	245,25	0,00	7,00	0,34	0,07
9	24	18	1	2017	245,48	0,00	13,00	0,47	0,08
9	34	18	1	2017	245,77	0,00	23,00	0,62	0,09
9	52	18	1	2017	246,09	0,00	41,00	0,83	0,11
10	26	18	1	2017	246,52	0,00	75,00	1,12	0,13
11	42	18	1	2017	247,08	5,06	151,00	1,59	0,16
12	40	18	1	2017	247,27		209,00	1,87	0,17
16	31	18	1	2017	247,44		440,00	2,71	0,18
21	36	18	1	2017	247,46		745,00	3,52	0,18
8	48	19	1	2017	247,52		1417,00	4,86	0,18
12	40	19	1	2017	247,54		1649,00	5,24	0,18
20	4	19	1	2017	247,54		2093,00	5,91	0,18
13	51	20	1	2017	247,57		3160,00	7,26	0,19
15	28	21	1	2017	247,59		4697,00	8,85	0,19
14	56	22	1	2017	247,60		6105,00	10,09	0,19
13	48	23	1	2017	247,60		7477,00	11,16	0,19
14	40	24	1	2017	247,60		8969,00	12,23	0,19

Dados do provete MVP C2.2

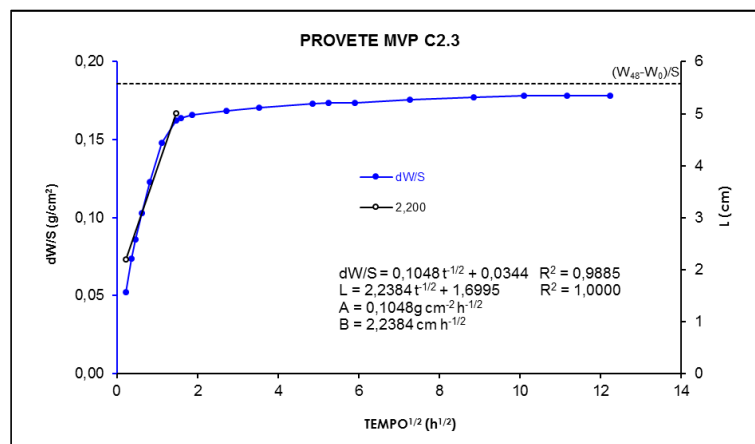
Peso (g)	243,99
Secção (cm ²)	19,31
Altura (cm)	5,06
Porosidade livre (%)	3,13



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C2.3									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	11	18	1	2017	242,22	0,200	0,00	0,00	0,00
9	14	18	1	2017	243,23	2,200	3,00	0,22	0,05
9	19	18	1	2017	243,64	0,000	8,00	0,37	0,07
9	24	18	1	2017	243,88	0,000	13,00	0,47	0,09
9	34	18	1	2017	244,20	0,000	23,00	0,62	0,10
9	52	18	1	2017	244,59	0,000	41,00	0,83	0,12
10	26	18	1	2017	245,07	0,000	75,00	1,12	0,15
11	22	18	1	2017	245,35	5,007	131,00	1,48	0,16
11	44	18	1	2017	245,38		153,00	1,60	0,16
12	41	18	1	2017	245,42		210,00	1,87	0,17
16	32	18	1	2017	245,47		441,00	2,71	0,17
21	36	18	1	2017	245,51		745,00	3,52	0,17
8	49	19	1	2017	245,56		1418,00	4,86	0,17
12	41	19	1	2017	245,57		1650,00	5,24	0,17
20	5	19	1	2017	245,57		2094,00	5,91	0,17
13	52	20	1	2017	245,60		3161,00	7,26	0,18
15	29	21	1	2017	245,63		4698,00	8,85	0,18
14	56	22	1	2017	245,65		6105,00	10,09	0,18
13	49	23	1	2017	245,65		7478,00	11,16	0,18
14	40	24	1	2017	245,65		8969,00	12,23	0,18

Dados do provete MVP C2.3

Peso (g)	242,22
Secção (cm ²)	19,27
Altura (cm)	5,007
Porosidade livre (%)	3,13

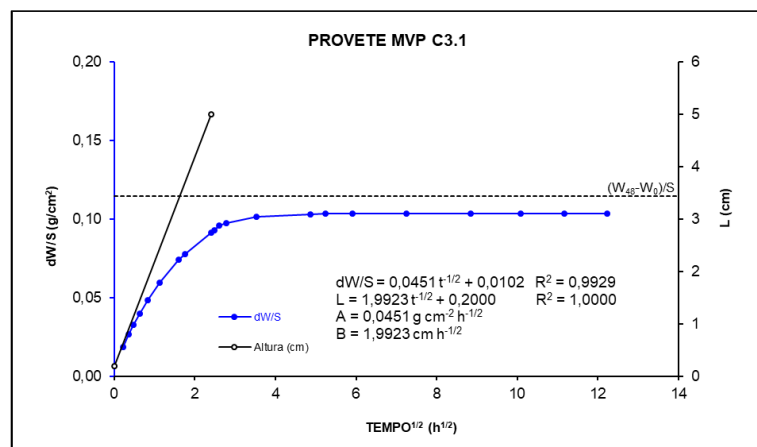


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C3.1

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9,00	11,00	18,00	1,00	2017,00	246,54	0,20	0,00	0,00	0,00
9,00	14,00	18,00	1,00	2017,00	246,90	0,00	3,00	0,22	0,02
9,00	19,00	18,00	1,00	2017,00	247,06	0,00	8,00	0,37	0,03
9,00	25,00	18,00	1,00	2017,00	247,17	0,00	14,00	0,48	0,03
9,00	35,00	18,00	1,00	2017,00	247,31	0,00	24,00	0,63	0,04
9,00	52,00	18,00	1,00	2017,00	247,48	0,00	41,00	0,83	0,05
10,00	27,00	18,00	1,00	2017,00	247,69	0,00	76,00	1,13	0,06
11,00	45,00	18,00	1,00	2017,00	247,97	0,00	154,00	1,60	0,07
12,00	17,00	18,00	1,00	2017,00	248,04	0,00	186,00	1,76	0,08
14,00	59,00	18,00	1,00	2017,00	248,31	5,00	348,00	2,41	0,09
15,00	21,00	18,00	1,00	2017,00	248,34		370,00	2,48	0,09
15,00	58,00	18,00	1,00	2017,00	248,39		407,00	2,60	0,10
16,00	58,00	18,00	1,00	2017,00	248,42		467,00	2,79	0,10
21,00	37,00	18,00	1,00	2017,00	248,50		746,00	3,53	0,10
8,00	50,00	19,00	1,00	2017,00	248,53		1419,00	4,86	0,10
12,00	41,00	19,00	1,00	2017,00	248,54		1650,00	5,24	0,10
20,00	6,00	19,00	1,00	2017,00	248,54		2095,00	5,91	0,10
13,00	53,00	20,00	1,00	2017,00	248,54		3162,00	7,26	0,10
15,00	29,00	21,00	1,00	2017,00	248,54		4698,00	8,85	0,10
14,00	57,00	22,00	1,00	2017,00	248,54		6106,00	10,09	0,10
13,00	49,00	23,00	1,00	2017,00	248,54		7478,00	11,16	0,10
14,00	41,00	24,00	1,00	2017,00	248,54		8970,00	12,23	0,10

Dados do provete MVP C3.1

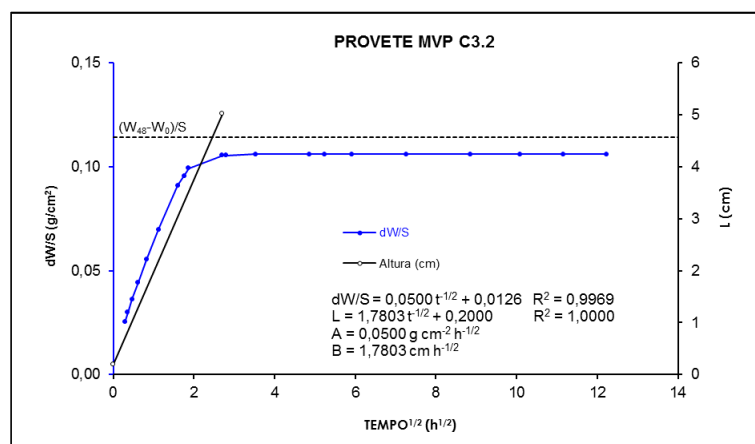
Peso (g)	246,54
Secção (cm ²)	19,35
Altura (cm)	5,00
Porosidade livre (%)	2,57



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C3.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	12	18	1	2017	248,42	0,20	0,00	0,00	0,00
9	17	18	1	2017	248,91	0,00	5,00	0,29	0,03
9	20	18	1	2017	249,00	0,00	8,00	0,37	0,03
9	25	18	1	2017	249,12	0,00	13,00	0,47	0,04
9	35	18	1	2017	249,28	0,00	23,00	0,62	0,04
9	53	18	1	2017	249,49	0,00	41,00	0,83	0,06
10	28	18	1	2017	249,77	0,00	76,00	1,13	0,07
11	46	18	1	2017	250,18	0,00	154,00	1,60	0,09
12	18	18	1	2017	250,27	0,00	186,00	1,76	0,10
12	42	18	1	2017	250,34	0,00	210,00	1,87	0,10
16	32	18	1	2017	250,46	5,02	440,00	2,71	0,11
16	59	18	1	2017	250,46		467,00	2,79	0,11
21	38	18	1	2017	250,47		746,00	3,53	0,11
8	51	19	1	2017	250,47		1419,00	4,86	0,11
12	42	19	1	2017	250,47		1650,00	5,24	0,11
20	7	19	1	2017	250,47		2095,00	5,91	0,11
13	53	20	1	2017	250,47		3161,00	7,26	0,11
15	30	21	1	2017	250,47		4698,00	8,85	0,11
14	58	22	1	2017	250,47		6106,00	10,09	0,11
13	50	23	1	2017	250,47		7478,00	11,16	0,11
14	42	24	1	2017	250,47		8970,00	12,23	0,11

Dados do provete MVP C3.2

Peso (g)	248,42
Secção (cm ²)	19,34
Altura (cm)	5,02
Porosidade livre (%)	3,13



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C3.3

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	12	18	1	2017	248,95	0,20	0,00	0,00	0,00
9	17	18	1	2017	249,28		5,00	0,29	0,02
9	20	18	1	2017	249,33		8,00	0,37	0,02
9	25	18	1	2017	249,41		13,00	0,47	0,02
9	35	18	1	2017	249,52		23,00	0,62	0,03
9	53	18	1	2017	249,67		41,00	0,83	0,04
10	29	18	1	2017	249,85		77,00	1,13	0,05
11	47	18	1	2017	250,20		155,00	1,61	0,06
12	20	18	1	2017	250,29		188,00	1,77	0,07
15	22	18	1	2017	250,76	5,05	370,00	2,48	0,09
15	40	18	1	2017	250,78		388,00	2,54	0,09
15	59	18	1	2017	250,81		407,00	2,60	0,10
16	59	18	1	2017	250,87		467,00	2,79	0,10
21	38	18	1	2017	250,95		746,00	3,53	0,10
8	51	19	1	2017	251,00		1419,00	4,86	0,11
12	42	19	1	2017	251,00		1650,00	5,24	0,11
20	7	19	1	2017	251,00		2095,00	5,91	0,11
13	54	20	1	2017	251,00		3162,00	7,26	0,11
15	31	21	1	2017	251,00		4699,00	8,85	0,11
14	59	22	1	2017	251,00		6107,00	10,09	0,11
13	50	23	1	2017	251,00		7478,00	11,16	0,11
14	42	24	1	2017	251,00		8970,00	12,23	0,11

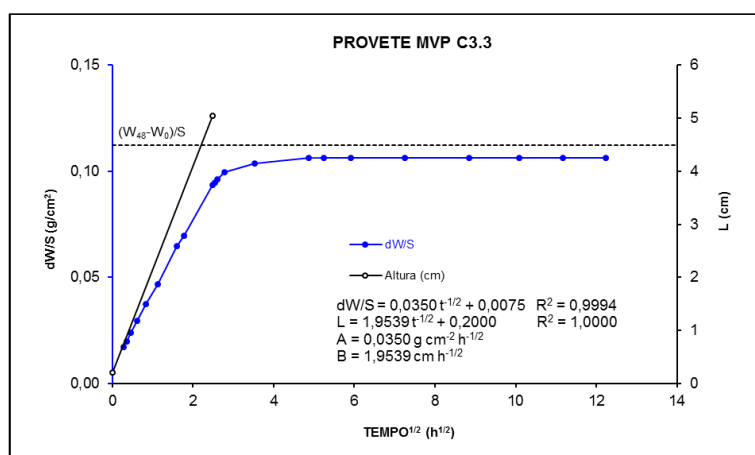
Dados do provete MVP C3.3

Peso (g) 248,95

Secção (cm²) 19,31

Altura (cm) 5,05

Porosidade livre (%) 3,27



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C4.1									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	37	18	1	2017	243,16	0,20	0,00	0,00	0,00
9	42	18	1	2017	243,62	1,15	5,00	0,29	0,02
9	54	18	1	2017	243,91	1,85	17,00	0,53	0,04
10	4	18	1	2017	244,06	2,40	27,00	0,67	0,05
10	19	18	1	2017	244,25	2,75	42,00	0,84	0,06
12	1	18	1	2017	244,93	4,75	144,00	1,55	0,09
13	47	18	1	2017	245,25	5,02	250,00	2,04	0,11
14	40	18	1	2017	245,28		303,00	2,25	0,11
16	5	18	1	2017	245,31		388,00	2,54	0,11
21	40	18	1	2017	245,35		723,00	3,47	0,12
8	53	19	1	2017	245,42		1396,00	4,82	0,12
12	44	19	1	2017	245,42		1627,00	5,21	0,12
20	9	19	1	2017	245,42		2072,00	5,88	0,12
13	55	20	1	2017	245,42		3138,00	7,23	0,12
15	32	21	1	2017	245,43		4675,00	8,83	0,12
15	2	22	1	2017	245,43		6085,00	10,07	0,12
13	52	23	1	2017	245,44		7455,00	11,15	0,12
14	44	24	1	2017	245,45		8947,00	12,21	0,12

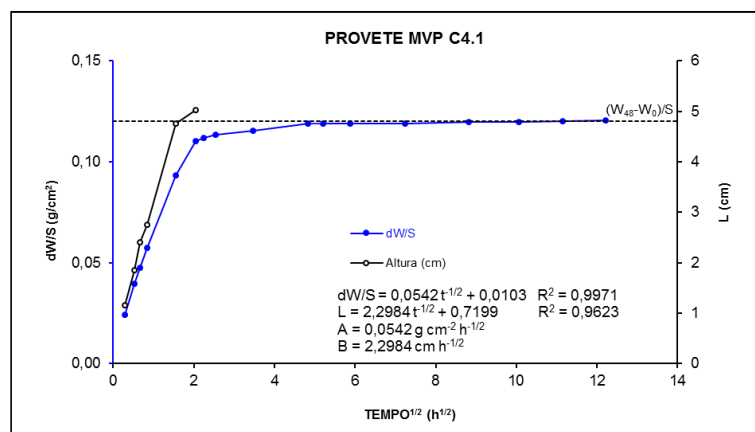
Dados do provete MVP C4.1

Peso (g) 243,16

Secção (cm²) 18,98

Altura (cm) 5,02

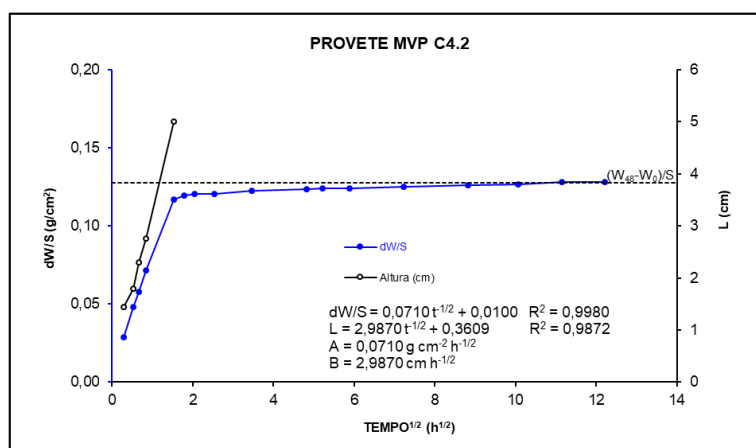
Porosidade livre (%) 3,27



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C4.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	38	18	1	2017	242,28	0,20	0,00	0,00	0,00
9	43	18	1	2017	242,83	1,45	5,00	0,29	0,03
9	55	18	1	2017	243,19	1,80	17,00	0,53	0,05
10	5	18	1	2017	243,38	2,30	27,00	0,67	0,06
10	20	18	1	2017	243,64	2,75	42,00	0,84	0,07
11	57	18	1	2017	244,50	5,01	139,00	1,52	0,12
12	51	18	1	2017	244,55		193,00	1,79	0,12
13	48	18	1	2017	244,57		250,00	2,04	0,12
16	6	18	1	2017	244,57		388,00	2,54	0,12
21	40	18	1	2017	244,60		722,00	3,47	0,12
8	54	19	1	2017	244,62		1396,00	4,82	0,12
12	44	19	1	2017	244,63		1626,00	5,21	0,12
20	10	19	1	2017	244,63		2072,00	5,88	0,12
13	56	20	1	2017	244,65		3138,00	7,23	0,12
15	32	21	1	2017	244,67		4674,00	8,83	0,13
15	3	22	1	2017	244,68		6085,00	10,07	0,13
13	52	23	1	2017	244,71		7454,00	11,15	0,13
14	44	24	1	2017	244,71		8946,00	12,21	0,13

Dados do provete MVP C4.2

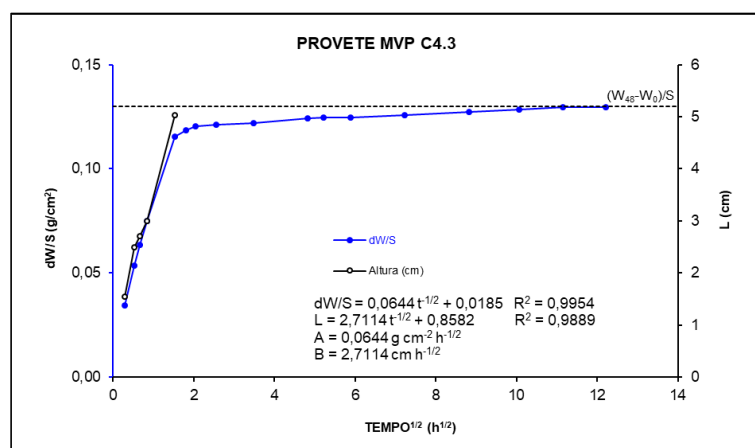
Peso (g)	242,28
Secção (cm ²)	18,98
Altura (cm)	5,01
Porosidade livre (%)	3,30



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C4.3									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	38	18	1	2017	245,34	0,20	0,00	0,00	0,00
9	43	18	1	2017	246,00	1,55	5,00	0,29	0,03
9	55	18	1	2017	246,37	2,50	17,00	0,53	0,05
10	5	18	1	2017	246,56	2,70	27,00	0,67	0,06
10	21	18	1	2017	246,78	3,00	43,00	0,85	0,07
11	58	18	1	2017	247,56	5,02	140,00	1,53	0,12
12	55	18	1	2017	247,62		197,00	1,81	0,12
13	49	18	1	2017	247,66		251,00	2,05	0,12
16	8	18	1	2017	247,67		390,00	2,55	0,12
21	41	18	1	2017	247,69		723,00	3,47	0,12
8	55	19	1	2017	247,73		1397,00	4,83	0,12
12	45	19	1	2017	247,74		1627,00	5,21	0,12
20	10	19	1	2017	247,74		2072,00	5,88	0,12
13	56	20	1	2017	247,76		3138,00	7,23	0,13
15	33	21	1	2017	247,79		4675,00	8,83	0,13
15	3	22	1	2017	247,81		6085,00	10,07	0,13
13	53	23	1	2017	247,83		7455,00	11,15	0,13
14	45	24	1	2017	247,83		8947,00	12,21	0,13

Dados do provete MVP C4.3

Peso (g)	245,34
Secção (cm ²)	19,24
Altura (cm)	5,02
Porosidade livre (%)	3,30

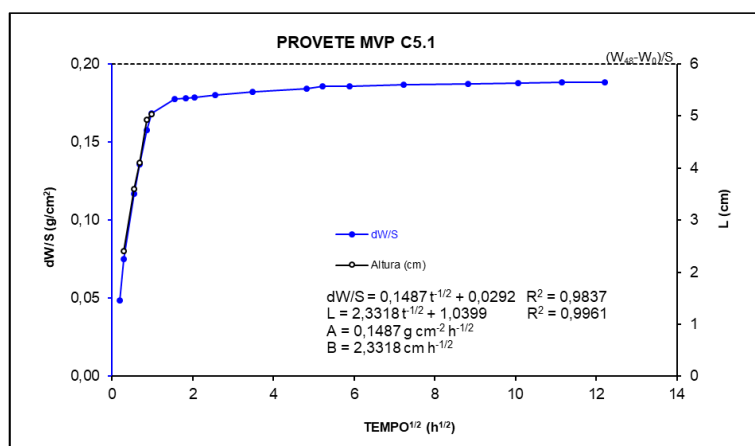


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C5.1

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{1/2}	dW/S
9	38	18	1	2017	241,55	0,20	0,00	0,00	0,00
9	40	18	1	2017	242,48		2,00	0,18	0,05
9	43	18	1	2017	242,99	2,40	5,00	0,29	0,08
9	56	18	1	2017	243,79	3,60	18,00	0,55	0,12
10	6	18	1	2017	244,15	4,10	28,00	0,68	0,14
10	22	18	1	2017	244,57	4,92	44,00	0,86	0,16
10	36	18	1	2017	244,78	5,04	58,00	0,98	0,17
12	2	18	1	2017	244,95		144,00	1,55	0,18
12	56	18	1	2017	244,96		198,00	1,82	0,18
13	49	18	1	2017	244,97		251,00	2,05	0,18
16	9	18	1	2017	245,00		391,00	2,55	0,18
21	42	18	1	2017	245,04		724,00	3,47	0,18
8	55	19	1	2017	245,08		1397,00	4,83	0,18
12	46	19	1	2017	245,11		1628,00	5,21	0,19
20	11	19	1	2017	245,11		2073,00	5,88	0,19
13	57	20	1	2017	245,13		3139,00	7,23	0,19
15	34	21	1	2017	245,14		4676,00	8,83	0,19
15	4	22	1	2017	245,15		6086,00	10,07	0,19
13	54	23	1	2017	245,16		7456,00	11,15	0,19
14	46	24	1	2017	245,16		8948,00	12,21	0,19

Dados do provete MVP C5.1

Peso (g)	241,55
Secção (cm ²)	19,17
Altura (cm)	5,04
Porosidade livre (%)	3,30



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C5.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	39	18	1	2017	240,13	0,20	0,00	0,00	0,00
9	41	18	1	2017	241,06	2,00	2,00	0,18	0,05
9	44	18	1	2017	241,57	2,20	5,00	0,29	0,07
9	57	18	1	2017	242,57	3,85	18,00	0,55	0,13
10	7	18	1	2017	243,10	4,86	28,00	0,68	0,15
10	23	18	1	2017	243,48	5,01	44,00	0,86	0,17
10	37	18	1	2017	243,53		58,00	0,98	0,18
12	4	18	1	2017	243,59		145,00	1,55	0,18
12	56	18	1	2017	243,63		197,00	1,81	0,18
13	49	18	1	2017	243,67		250,00	2,04	0,18
16	10	18	1	2017	243,67		391,00	2,55	0,18
21	42	18	1	2017	243,67		723,00	3,47	0,18
8	56	19	1	2017	243,70		1397,00	4,83	0,19
12	46	19	1	2017	243,72		1627,00	5,21	0,19
20	12	19	1	2017	243,72		2073,00	5,88	0,19
13	58	20	1	2017	243,74		3139,00	7,23	0,19
15	35	21	1	2017	243,76		4676,00	8,83	0,19
15	5	22	1	2017	243,77		6086,00	10,07	0,19
13	54	23	1	2017	243,77		7455,00	11,15	0,19
14	46	24	1	2017	243,77		8947,00	12,21	0,19

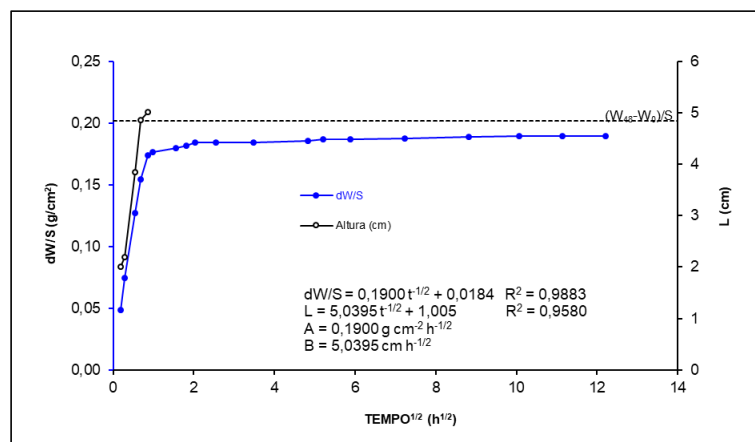
Dados do provete MVP C5.2

Peso (g) 240,13

Secção (cm²) 19,24

Altura (cm) 5,01

Porosidade livre (%) 3,30

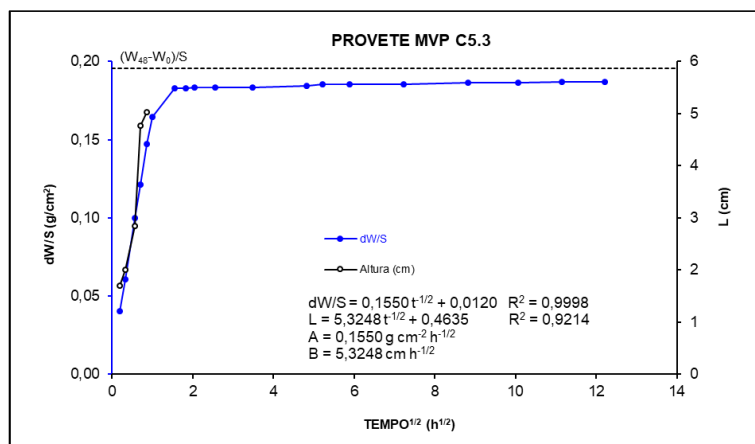


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C5.3

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
9	39	18	1	2017	241,29	0,20	0,00	0,00	0,00
9	41	18	1	2017	242,06	1,70	2,00	0,18	0,04
9	45	18	1	2017	242,45	2,00	6,00	0,32	0,06
9	58	18	1	2017	243,21	2,85	19,00	0,56	0,10
10	9	18	1	2017	243,62	4,77	30,00	0,71	0,12
10	24	18	1	2017	244,11	5,03	45,00	0,87	0,15
10	38	18	1	2017	244,45		59,00	0,99	0,16
12	4	18	1	2017	244,80		145,00	1,55	0,18
12	57	18	1	2017	244,80		198,00	1,82	0,18
13	50	18	1	2017	244,81		251,00	2,05	0,18
16	11	18	1	2017	244,81		392,00	2,56	0,18
21	44	18	1	2017	244,81		725,00	3,48	0,18
8	57	19	1	2017	244,83		1398,00	4,83	0,18
12	47	19	1	2017	244,85		1628,00	5,21	0,19
20	12	19	1	2017	244,85		2073,00	5,88	0,19
13	58	20	1	2017	244,85		3139,00	7,23	0,19
15	36	21	1	2017	244,87		4677,00	8,83	0,19
15	5	22	1	2017	244,87		6086,00	10,07	0,19
13	55	23	1	2017	244,88		7456,00	11,15	0,19
14	47	24	1	2017	244,88		8948,00	12,21	0,19

Dados do provete MVP C5.3

Peso (g)	241,29
Secção (cm ²)	19,18
Altura (cm)	5,03
Porosidade livre (%)	3,30



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C6.1									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
11	27	18	1	2017	231,99	0,20	0,00	0,00	0,00
11	29	18	1	2017	233,65	1,55	2,00	0,18	0,09
11	31	18	1	2017	234,30	2,25	4,00	0,26	0,12
11	34	18	1	2017	235,03	2,70	7,00	0,34	0,16
11	37	18	1	2017	235,43	3,15	10,00	0,41	0,18
11	48	18	1	2017	236,70	3,90	21,00	0,59	0,24
12	6	18	1	2017	237,72	5,03	39,00	0,81	0,30
12	24	18	1	2017	237,89		57,00	0,97	0,31
13	0	18	1	2017	237,97		93,00	1,24	0,31
13	14	18	1	2017	237,98		107,00	1,34	0,31
14	42	18	1	2017	238,02		195,00	1,80	0,31
16	48	18	1	2017	238,06		321,00	2,31	0,31
21	45	18	1	2017	238,10		618,00	3,21	0,32
8	58	19	1	2017	238,19		1291,00	4,64	0,32
12	48	19	1	2017	238,21		1521,00	5,03	0,32
20	14	19	1	2017	238,22		1967,00	5,73	0,32
13	59	20	1	2017	238,27		3032,00	7,11	0,32
15	37	21	1	2017	238,32		4570,00	8,73	0,33
15	6	22	1	2017	238,34		5979,00	9,98	0,33
13	55	23	1	2017	238,38		7348,00	11,07	0,33
14	48	24	1	2017	238,38		8841,00	12,14	0,33

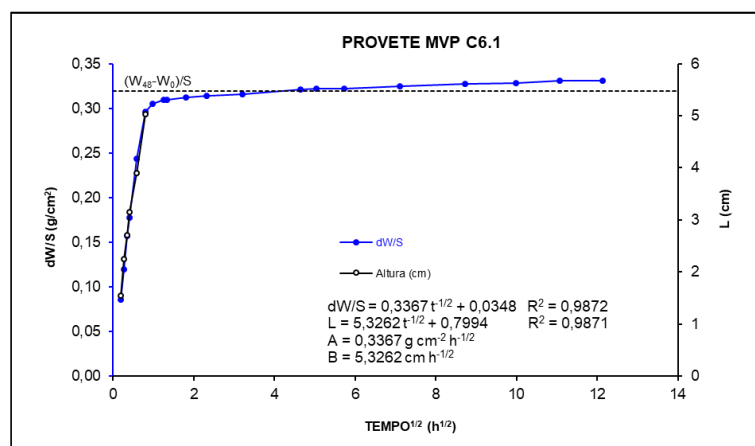
Dados do provete MVP C6.1

Peso (g) 231,99

Secção (cm²) 19,34

Altura (cm) 5,03

Porosidade livre (%) 3,30

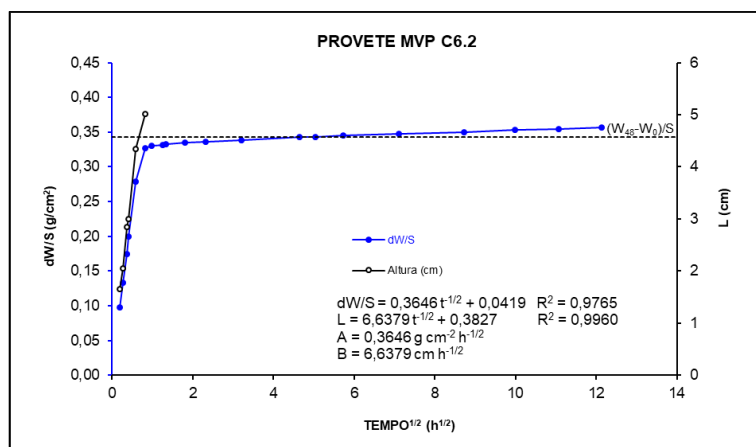


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C6.2

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
11	27	18	1	2017	229,07	0,20	0,00	0,00	0,00
11	29	18	1	2017	230,96	1,65	2,00	0,18	0,10
11	31	18	1	2017	231,64	2,05	4,00	0,26	0,13
11	35	18	1	2017	232,45	2,85	8,00	0,37	0,17
11	37	18	1	2017	232,94	3,00	10,00	0,41	0,20
11	48	18	1	2017	234,45	4,35	21,00	0,59	0,28
12	8	18	1	2017	235,40	5,02	41,00	0,83	0,33
12	25	18	1	2017	235,46		58,00	0,98	0,33
13	0	18	1	2017	235,47		93,00	1,24	0,33
13	14	18	1	2017	235,49		107,00	1,34	0,33
14	42	18	1	2017	235,54		195,00	1,80	0,33
16	48	18	1	2017	235,57		321,00	2,31	0,34
21	46	18	1	2017	235,62		619,00	3,21	0,34
8	59	19	1	2017	235,69		1292,00	4,64	0,34
12	48	19	1	2017	235,71		1521,00	5,03	0,34
20	14	19	1	2017	235,75		1967,00	5,73	0,35
14	0	20	1	2017	235,78		3033,00	7,11	0,35
15	37	21	1	2017	235,83		4570,00	8,73	0,35
15	7	22	1	2017	235,89		5980,00	9,98	0,35
13	56	23	1	2017	235,93		7349,00	11,07	0,35
14	48	24	1	2017	235,97		8841,00	12,14	0,36

Dados do provete MVP C6.2

Peso (g)	229,07
Secção (cm ²)	19,34
Altura (cm)	5,019
Porosidade livre (%)	3,30



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C6.3									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
11	28	18	1	2017	229,19	0,200	0,00	0,00	0,00
11	30	18	1	2017	231,37	1,000	2,00	0,18	0,11
11	32	18	1	2017	232,00		4,00	0,26	0,15
11	35	18	1	2017	232,75	3,100	7,00	0,34	0,18
11	38	18	1	2017	233,25	3,550	10,00	0,41	0,21
11	49	18	1	2017	234,80	4,750	21,00	0,59	0,29
12	9	18	1	2017	235,76	5,018	41,00	0,83	0,34
12	26	18	1	2017	235,82		58,00	0,98	0,34
13	1	18	1	2017	235,84		93,00	1,24	0,34
13	14	18	1	2017	235,86		106,00	1,33	0,35
14	43	18	1	2017	235,91		195,00	1,80	0,35
16	49	18	1	2017	235,92		321,00	2,31	0,35
21	46	18	1	2017	235,96		618,00	3,21	0,35
8	59	19	1	2017	236,03		1291,00	4,64	0,35
12	49	19	1	2017	236,06		1521,00	5,03	0,36
20	15	19	1	2017	236,07		1967,00	5,73	0,36
14	0	20	1	2017	236,11		3032,00	7,11	0,36
15	38	21	1	2017	236,15		4570,00	8,73	0,36
15	8	22	1	2017	236,21		5980,00	9,98	0,36
13	56	23	1	2017	236,25		7348,00	11,07	0,37
14	49	24	1	2017	236,29		8841,00	12,14	0,37

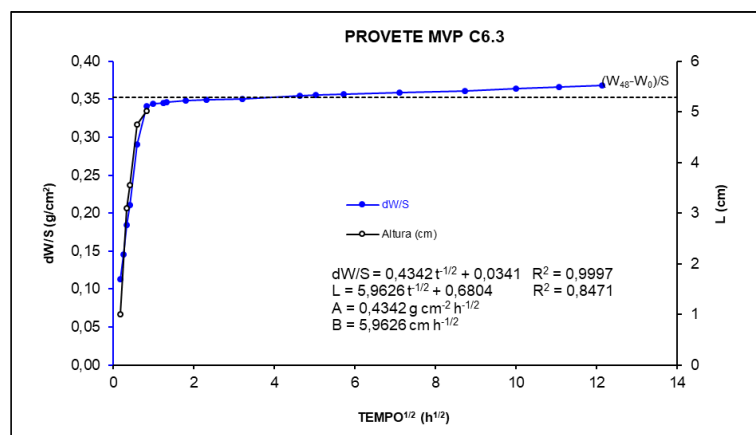
Dados do provete MVP C6.3

Peso (g) 229,19

Secção (cm²) 19,29

Altura (cm) 5,018

Porosidade livre (%) 3,30

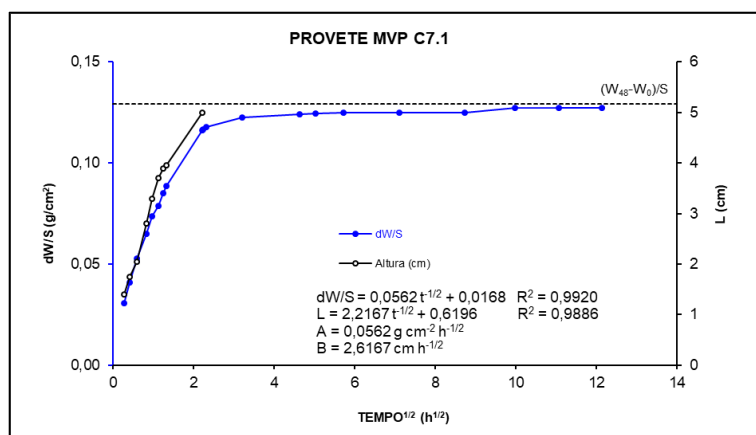


Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C7.1

Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
11	28	18	1	2017	247,70	0,20	0,00	0,00	0,00
11	33	18	1	2017	248,29	1,40	5,00	0,29	0,03
11	39	18	1	2017	248,49	1,75	11,00	0,43	0,04
11	50	18	1	2017	248,72	2,05	22,00	0,61	0,05
12	9	18	1	2017	248,95	2,80	41,00	0,83	0,06
12	26	18	1	2017	249,12	3,30	58,00	0,98	0,07
12	44	18	1	2017	249,22	3,70	76,00	1,13	0,08
13	1	18	1	2017	249,34	3,90	93,00	1,24	0,09
13	15	18	1	2017	249,41	3,95	107,00	1,34	0,09
16	22	18	1	2017	249,94	5,00	294,00	2,21	0,12
16	29	18	1	2017	249,95		301,00	2,24	0,12
16	49	18	1	2017	249,97		321,00	2,31	0,12
21	47	18	1	2017	250,06		619,00	3,21	0,12
9	0	19	1	2017	250,09		1292,00	4,64	0,12
12	49	19	1	2017	250,10		1521,00	5,03	0,12
20	15	19	1	2017	250,11		1967,00	5,73	0,13
14	1	20	1	2017	250,11		3033,00	7,11	0,13
15	39	21	1	2017	250,11		4571,00	8,73	0,13
15	8	22	1	2017	250,15		5980,00	9,98	0,13
13	57	23	1	2017	250,15		7349,00	11,07	0,13
14	49	24	1	2017	250,15		8841,00	12,14	0,13

Dados do provete MVP C7.1

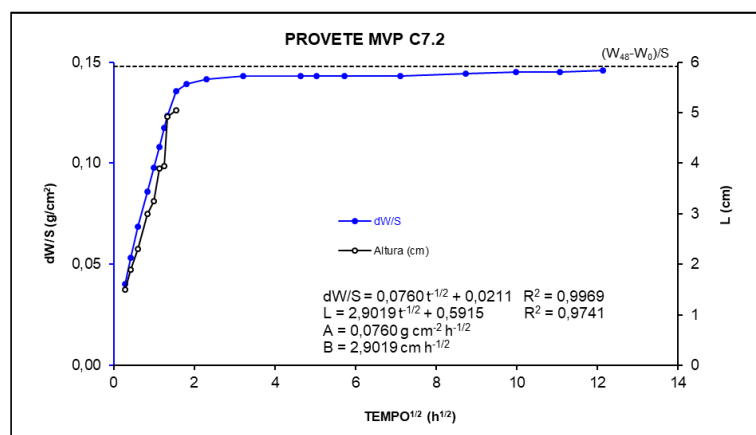
Peso (g)	247,70
Secção (cm ²)	19,28
Altura (cm)	5,004
Porosidade livre (%)	3,30



Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do PROVETE MVP C7.2									
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso (g)	Altura (cm)	Tempo (min)	Hora ^{-1/2}	dW/S
11	28	18	1	2017	246,52	0,20	0,00	0,00	0,00
11	33	18	1	2017	247,30	1,50	5,00	0,29	0,04
11	39	18	1	2017	247,55	1,90	11,00	0,43	0,05
11	50	18	1	2017	247,85	2,30	22,00	0,61	0,07
12	10	18	1	2017	248,18	3,00	42,00	0,84	0,09
12	27	18	1	2017	248,41	3,25	59,00	0,99	0,10
12	45	18	1	2017	248,61	3,90	77,00	1,13	0,11
13	2	18	1	2017	248,79	3,95	94,00	1,25	0,12
13	16	18	1	2017	248,91	4,93	108,00	1,34	0,12
13	52	18	1	2017	249,14	5,05	144,00	1,55	0,14
14	43	18	1	2017	249,21		195,00	1,80	0,14
16	49	18	1	2017	249,26		321,00	2,31	0,14
21	47	18	1	2017	249,29		619,00	3,21	0,14
9	1	19	1	2017	249,29		1293,00	4,64	0,14
12	50	19	1	2017	249,29		1522,00	5,04	0,14
20	16	19	1	2017	249,29		1968,00	5,73	0,14
14	2	20	1	2017	249,29		3034,00	7,11	0,14
15	40	21	1	2017	249,31		4572,00	8,73	0,14
15	9	22	1	2017	249,33		5981,00	9,98	0,15
13	58	23	1	2017	249,33		7350,00	11,07	0,15
14	50	24	1	2017	249,34		8842,00	12,14	0,15

Dados do provete MVP C7.2

Peso (g)	246,52
Secção (cm ²)	19,34
Altura (cm)	5,050
Porosidade livre (%)	3,30



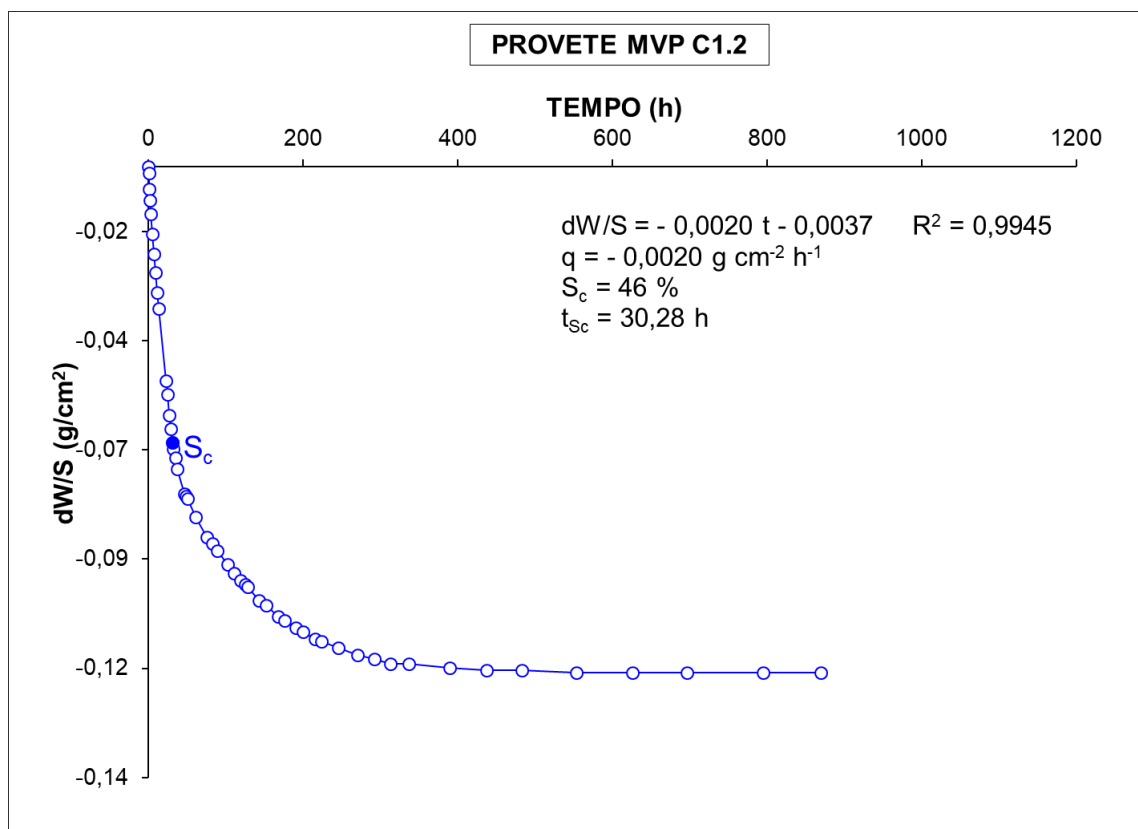
ANEXO A3 – RESULTADOS DO ENSAIO DE EVAPORAÇÃO

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE 1.2								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	10	15	3	2017	250,88	0	0,00	0,0000
10	20	15	3	2017	250,85	10	0,17	-0,0016
11	5	15	3	2017	250,78	55	0,92	-0,0052
11	59	15	3	2017	250,73	109	1,82	-0,0078
13	25	15	3	2017	250,67	195	3,25	-0,0109
15	26	15	3	2017	250,58	316	5,27	-0,0155
17	31	15	3	2017	250,49	441	7,35	-0,0202
19	32	15	3	2017	250,41	562	9,37	-0,0243
21	41	15	3	2017	250,32	691	11,52	-0,0290
23	31	15	3	2017	250,25	801	13,35	-0,0326
8	43	16	3	2017	249,93	1353	22,55	-0,0492
10	25	16	3	2017	249,87	1455	24,25	-0,0523
12	24	16	3	2017	249,78	1574	26,23	-0,0570
14	25	16	3	2017	249,72	1695	28,25	-0,0601
16	27	16	3	2017	249,66	1817	30,28	-0,0632
18	27	16	3	2017	249,63	1937	32,28	-0,0647
20	34	16	3	2017	249,59	2064	34,40	-0,0668
23	30	16	3	2017	249,54	2240	37,33	-0,0694
8	46	17	3	2017	249,43	2796	46,60	-0,0751
10	33	17	3	2017	249,42	2903	48,38	-0,0756
12	34	17	3	2017	249,41	3024	50,40	-0,0761
22	54	17	3	2017	249,33	3644	60,73	-0,0803
13	47	18	3	2017	249,24	4537	75,62	-0,0849
21	13	18	3	2017	249,21	4983	83,05	-0,0865
3	1	19	3	2017	249,18	5331	88,85	-0,0881
16	26	19	3	2017	249,12	6136	102,27	-0,0912
0	34	20	3	2017	249,08	6624	110,40	-0,0932
8	51	20	3	2017	249,05	7121	118,68	-0,0948
15	0	20	3	2017	249,03	7490	124,83	-0,0958
17	54	20	3	2017	249,02	7664	127,73	-0,0963
8	56	21	3	2017	248,96	8566	142,77	-0,0994
17	54	21	3	2017	248,94	9104	151,73	-0,1005
9	27	22	3	2017	248,89	10037	167,28	-0,1031
17	40	22	3	2017	248,87	10530	175,50	-0,1041
9	0	23	3	2017	248,84	11450	190,83	-0,1057
17	52	23	3	2017	248,82	11982	199,70	-0,1067
9	39	24	3	2017	248,79	12929	215,48	-0,1083
18	3	24	3	2017	248,78	13433	223,88	-0,1088
15	33	25	3	2017	248,75	14723	245,38	-0,1103
16	44	26	3	2017	248,72	16234	270,57	-0,1119
14	0	27	3	2017	248,70	17510	291,83	-0,1129
10	31	28	3	2017	248,68	18741	312,35	-0,1140
10	43	29	3	2017	248,68	20193	336,55	-0,1140

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE 1.2 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
15	9	31	3	2017	248,66	23339	388,98	-0,1150
15	44	2	4	2017	248,65	26254	437,57	-0,1155
13	7	4	4	2017	248,65	28977	482,95	-0,1155
11	7	7	4	2017	248,64	33177	552,95	-0,1160
11	52	10	4	2017	248,64	37542	625,70	-0,1160
10	13	13	4	2017	248,64	41763	696,05	-0,1160
13	21	17	4	2017	248,64	47711	795,18	-0,1160
15	51	20	4	2017	248,64	52181	869,68	-0,1160

Dados do provete MVP C1.2

Peso (g)	250,88
Secção (cm ²)	19,30647
Altura (cm)	5,020
Saturação crítica (%)	46



Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C1.3								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	13	15	3	2017	246,02	0	0,00	0,0000
10	20	15	3	2017	245,99	7	0,12	-0,0016
11	6	15	3	2017	245,93	53	0,88	-0,0047
11	59	15	3	2017	245,88	106	1,77	-0,0073
13	26	15	3	2017	245,82	193	3,22	-0,0104
15	27	15	3	2017	245,74	314	5,23	-0,0146
17	32	15	3	2017	245,65	439	7,32	-0,0192
19	33	15	3	2017	245,57	560	9,33	-0,0234
21	41	15	3	2017	245,48	688	11,47	-0,0281
23	31	15	3	2017	245,42	798	13,30	-0,0312
8	44	16	3	2017	245,10	1351	22,52	-0,0478
10	26	16	3	2017	245,04	1453	24,22	-0,0509
12	25	16	3	2017	244,97	1572	26,20	-0,0546
14	25	16	3	2017	244,93	1692	28,20	-0,0567
16	27	16	3	2017	244,88	1814	30,23	-0,0593
18	27	16	3	2017	244,86	1934	32,23	-0,0603
20	34	16	3	2017	244,82	2061	34,35	-0,0624
23	30	16	3	2017	244,78	2237	37,28	-0,0645
8	46	17	3	2017	244,68	2793	46,55	-0,0697
10	33	17	3	2017	244,66	2900	48,33	-0,0707
12	35	17	3	2017	244,65	3022	50,37	-0,0712
22	55	17	3	2017	244,57	3642	60,70	-0,0754
13	47	18	3	2017	244,48	4534	75,57	-0,0801
21	13	18	3	2017	244,45	4980	83,00	-0,0816
3	2	19	3	2017	244,41	5329	88,82	-0,0837
16	26	19	3	2017	244,35	6133	102,22	-0,0868
0	34	20	3	2017	244,31	6621	110,35	-0,0889
8	51	20	3	2017	244,28	7118	118,63	-0,0905
15	1	20	3	2017	244,26	7488	124,80	-0,0915
17	55	20	3	2017	244,25	7662	127,70	-0,0920
8	56	21	3	2017	244,19	8563	142,72	-0,0951
17	54	21	3	2017	244,17	9101	151,68	-0,0962
9	27	22	3	2017	244,13	10034	167,23	-0,0983
17	40	22	3	2017	244,12	10527	175,45	-0,0988
9	1	23	3	2017	244,10	11448	190,80	-0,0998
17	52	23	3	2017	244,09	11979	199,65	-0,1003
9	40	24	3	2017	244,06	12927	215,45	-0,1019
18	3	24	3	2017	244,06	13430	223,83	-0,1019
15	34	25	3	2017	244,05	14721	245,35	-0,1024
16	45	26	3	2017	244,04	16232	270,53	-0,1029
14	1	27	3	2017	244,02	17508	291,80	-0,1040
10	32	28	3	2017	244,01	18739	312,32	-0,1045
10	43	29	3	2017	244,01	20190	336,50	-0,1045

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C1.3 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
15	10	31	3	2017	244,01	23337	388,95	-0,1045
15	46	2	4	2017	244,00	26253	437,55	-0,1050
13	7	4	4	2017	243,99	28974	482,90	-0,1055
11	7	7	4	2017	243,99	33174	552,90	-0,1055
11	52	10	4	2017	243,99	37539	625,65	-0,1055
10	13	13	4	2017	243,99	41760	696,00	-0,1055
13	21	17	4	2017	243,99	47708	795,13	-0,1055
15	52	20	4	2017	243,99	52179	869,65	-0,1055

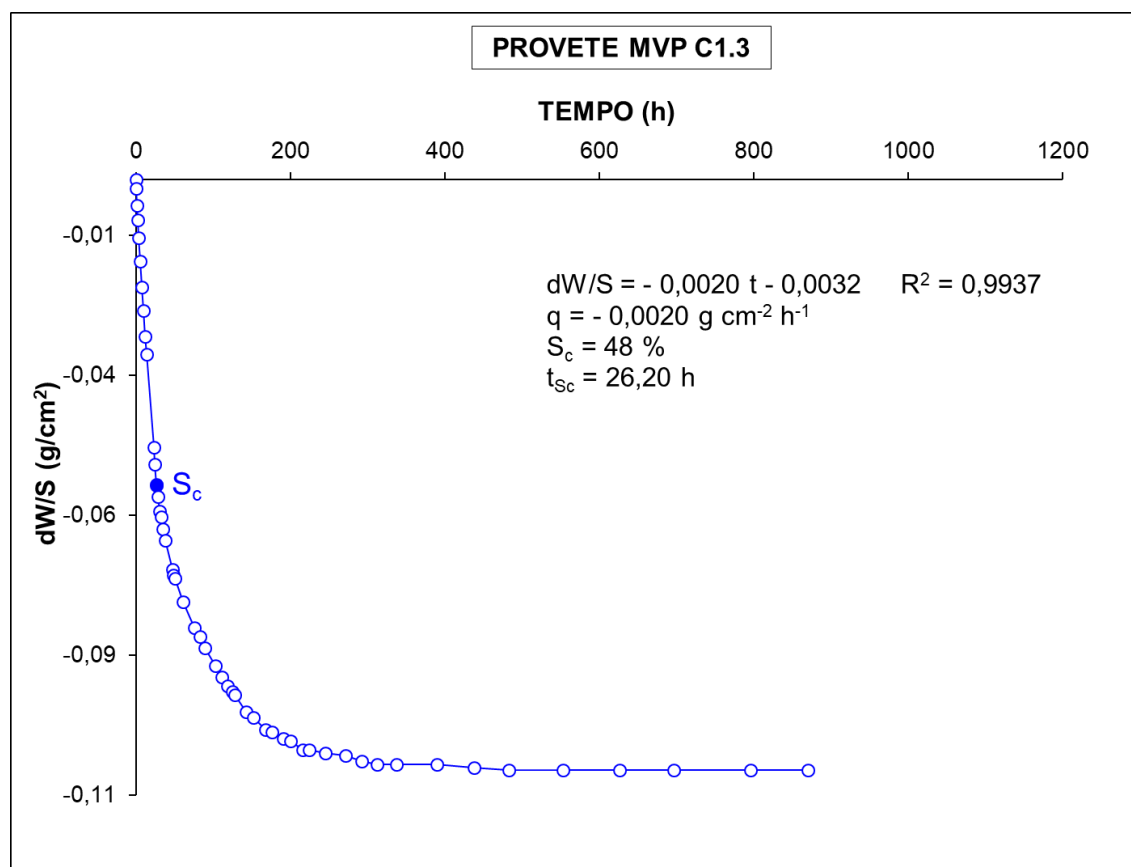
Dados do provete MVP C1.3

Peso (g) 246,02

Secção (cm²) 19,2364

Altura (cm) 4,95

Saturação crítica (%) 48



Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C1.5								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	15	15	3	2017	245,67	0	0,00	0,0000
10	21	15	3	2017	245,64	6	0,10	-0,0016
11	6	15	3	2017	245,60	51	0,85	-0,0036
12	0	15	3	2017	245,55	105	1,75	-0,0062
13	26	15	3	2017	245,49	191	3,18	-0,0093
15	27	15	3	2017	245,41	312	5,20	-0,0135
17	33	15	3	2017	245,34	438	7,30	-0,0171
19	33	15	3	2017	245,28	558	9,30	-0,0202
21	42	15	3	2017	245,20	687	11,45	-0,0244
23	32	15	3	2017	245,15	797	13,28	-0,0270
8	45	16	3	2017	244,92	1350	22,50	-0,0389
10	26	16	3	2017	244,88	1451	24,18	-0,0410
12	25	16	3	2017	244,83	1570	26,17	-0,0436
14	25	16	3	2017	244,78	1690	28,17	-0,0462
16	28	16	3	2017	244,71	1813	30,22	-0,0498
18	28	16	3	2017	244,67	1933	32,22	-0,0519
20	34	16	3	2017	244,61	2059	34,32	-0,0550
23	31	16	3	2017	244,54	2236	37,27	-0,0587
8	47	17	3	2017	244,37	2792	46,53	-0,0675
10	34	17	3	2017	244,34	2899	48,32	-0,0691
12	35	17	3	2017	244,31	3020	50,33	-0,0706
15	29	17	3	2017	244,26	3194	53,23	-0,0732
22	55	17	3	2017	244,17	3640	60,67	-0,0779
13	48	18	3	2017	244,03	4533	75,55	-0,0852
21	14	18	3	2017	243,97	4979	82,98	-0,0883
3	2	19	3	2017	243,92	5327	88,78	-0,0909
16	27	19	3	2017	243,83	6132	102,20	-0,0955
0	35	20	3	2017	243,77	6620	110,33	-0,0987
8	52	20	3	2017	243,73	7117	118,62	-0,1007
15	1	20	3	2017	243,69	7486	124,77	-0,1028
17	55	20	3	2017	243,68	7660	127,67	-0,1033
8	57	21	3	2017	243,60	8562	142,70	-0,1075
17	55	21	3	2017	243,56	9100	151,67	-0,1096
9	28	22	3	2017	243,50	10033	167,22	-0,1127
17	40	22	3	2017	243,46	10525	175,42	-0,1147
9	1	23	3	2017	243,42	11446	190,77	-0,1168
17	53	23	3	2017	243,40	11978	199,63	-0,1179
9	40	24	3	2017	243,35	12925	215,42	-0,1205
18	4	24	3	2017	243,34	13429	223,82	-0,1210
15	34	25	3	2017	243,30	14719	245,32	-0,1231
16	45	26	3	2017	243,26	16230	270,50	-0,1251
14	1	27	3	2017	243,24	17506	291,77	-0,1262
10	33	28	3	2017	243,23	18738	312,30	-0,1267

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C1.5 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	44	29	3	2017	243,22	20189	336,48	-0,1272
15	11	31	3	2017	243,21	23336	388,93	-0,1277
15	47	2	4	2017	243,19	26252	437,53	-0,1288
13	8	4	4	2017	243,19	28973	482,88	-0,1288
11	9	7	4	2017	243,19	33174	552,90	-0,1288
11	53	10	4	2017	243,19	37538	625,63	-0,1288
10	14	13	4	2017	243,19	41759	695,98	-0,1288
13	22	17	4	2017	243,19	47707	795,12	-0,1288
15	52	20	4	2017	243,19	52177	869,62	-0,1288

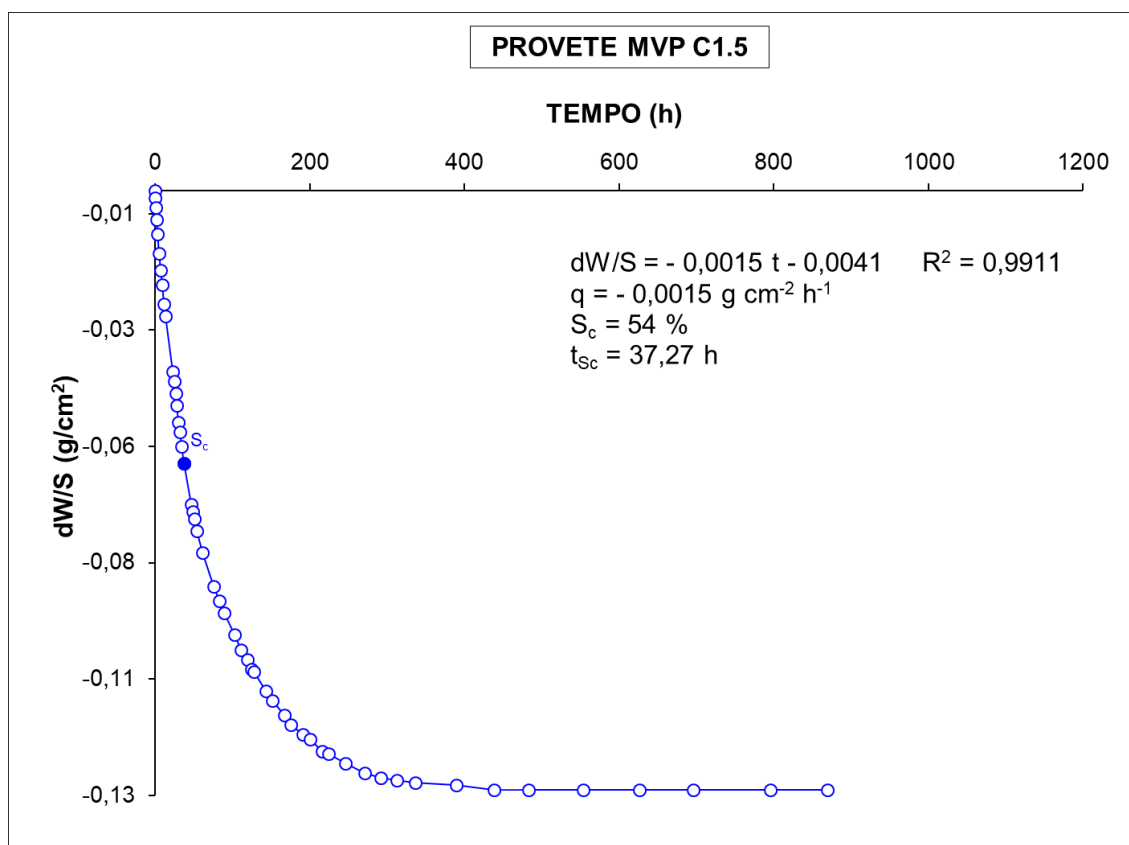
Dados do provete MVP C1.5

Peso (g) 245,67

Secção (cm²) 19,2598

Altura (cm) 4,9590

Saturação crítica (%) 54

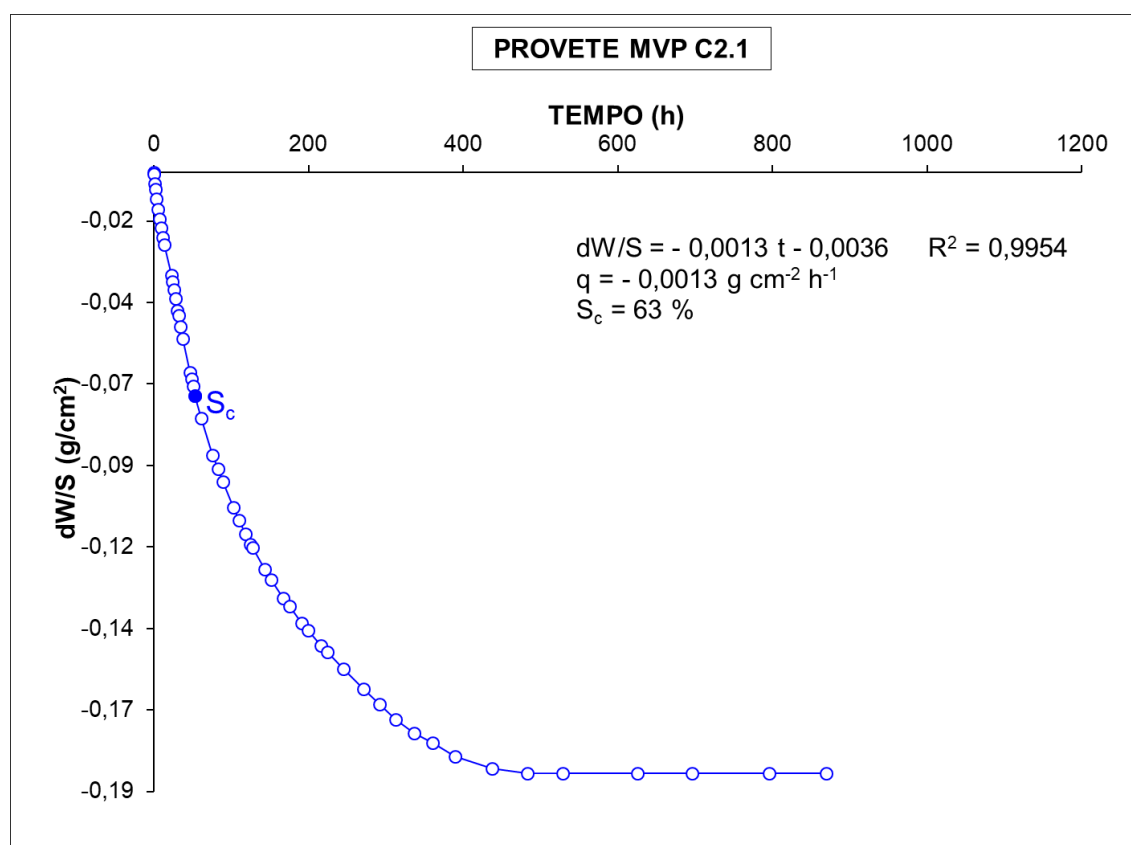


Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.1								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	16	15	3	2017	240,14	0	0,00	0,0000
10	21	15	3	2017	240,13	5	0,08	-0,0005
11	7	15	3	2017	240,07	51	0,85	-0,0036
12	0	15	3	2017	240,04	104	1,73	-0,0052
13	27	15	3	2017	239,98	191	3,18	-0,0083
15	28	15	3	2017	239,92	312	5,20	-0,0114
17	34	15	3	2017	239,86	438	7,30	-0,0145
19	34	15	3	2017	239,81	558	9,30	-0,0170
21	42	15	3	2017	239,75	686	11,43	-0,0201
23	32	15	3	2017	239,71	796	13,27	-0,0222
8	45	16	3	2017	239,53	1349	22,48	-0,0315
10	27	16	3	2017	239,49	1451	24,18	-0,0336
12	26	16	3	2017	239,44	1570	26,17	-0,0362
14	26	16	3	2017	239,39	1690	28,17	-0,0387
16	28	16	3	2017	239,32	1812	30,20	-0,0424
18	28	16	3	2017	239,29	1932	32,20	-0,0439
20	35	16	3	2017	239,22	2059	34,32	-0,0475
23	31	16	3	2017	239,15	2235	37,25	-0,0511
8	48	17	3	2017	238,95	2792	46,53	-0,0615
10	34	17	3	2017	238,91	2898	48,30	-0,0635
12	36	17	3	2017	238,87	3020	50,33	-0,0656
15	30	17	3	2017	238,81	3194	53,23	-0,0687
22	56	17	3	2017	238,68	3640	60,67	-0,0754
13	48	18	3	2017	238,46	4532	75,53	-0,0868
21	14	18	3	2017	238,38	4978	82,97	-0,0909
3	3	19	3	2017	238,30	5327	88,78	-0,0950
16	27	19	3	2017	238,15	6131	102,18	-0,1028
0	35	20	3	2017	238,07	6619	110,32	-0,1069
8	53	20	3	2017	237,99	7117	118,62	-0,1110
15	2	20	3	2017	237,93	7486	124,77	-0,1141
17	55	20	3	2017	237,91	7659	127,65	-0,1152
8	57	21	3	2017	237,78	8561	142,68	-0,1219
17	55	21	3	2017	237,72	9099	151,65	-0,1250
9	28	22	3	2017	237,61	10032	167,20	-0,1307
17	41	22	3	2017	237,56	10525	175,42	-0,1333
9	2	23	3	2017	237,46	11446	190,77	-0,1384
17	54	23	3	2017	237,42	11978	199,63	-0,1405
9	41	24	3	2017	237,33	12925	215,42	-0,1451
18	4	24	3	2017	237,29	13428	223,80	-0,1472
15	35	25	3	2017	237,19	14719	245,32	-0,1524
16	46	26	3	2017	237,07	16230	270,50	-0,1586
14	1	27	3	2017	236,98	17505	291,75	-0,1632
10	34	28	3	2017	236,89	18738	312,30	-0,1679

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.1 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	44	29	3	2017	236,81	20188	336,47	-0,1720
10	45	30	3	2017	236,75	21629	360,48	-0,1751
15	12	31	3	2017	236,67	23336	388,93	-0,1792
15	47	2	4	2017	236,60	26251	437,52	-0,1828
13	9	4	4	2017	236,57	28973	482,88	-0,1844
10	33	6	4	2017	236,57	31697	528,28	-0,1844
11	53	10	4	2017	236,57	37537	625,62	-0,1844
10	14	13	4	2017	236,57	41758	695,97	-0,1844
13	23	17	4	2017	236,57	47707	795,12	-0,1844
15	53	20	4	2017	236,57	52177	869,62	-0,1844

Dados do provete MVP C2.1

Peso (g)	240,14
Secção (cm ²)	19,3610
Altura (cm)	4,9200
Saturação crítica (%)	63

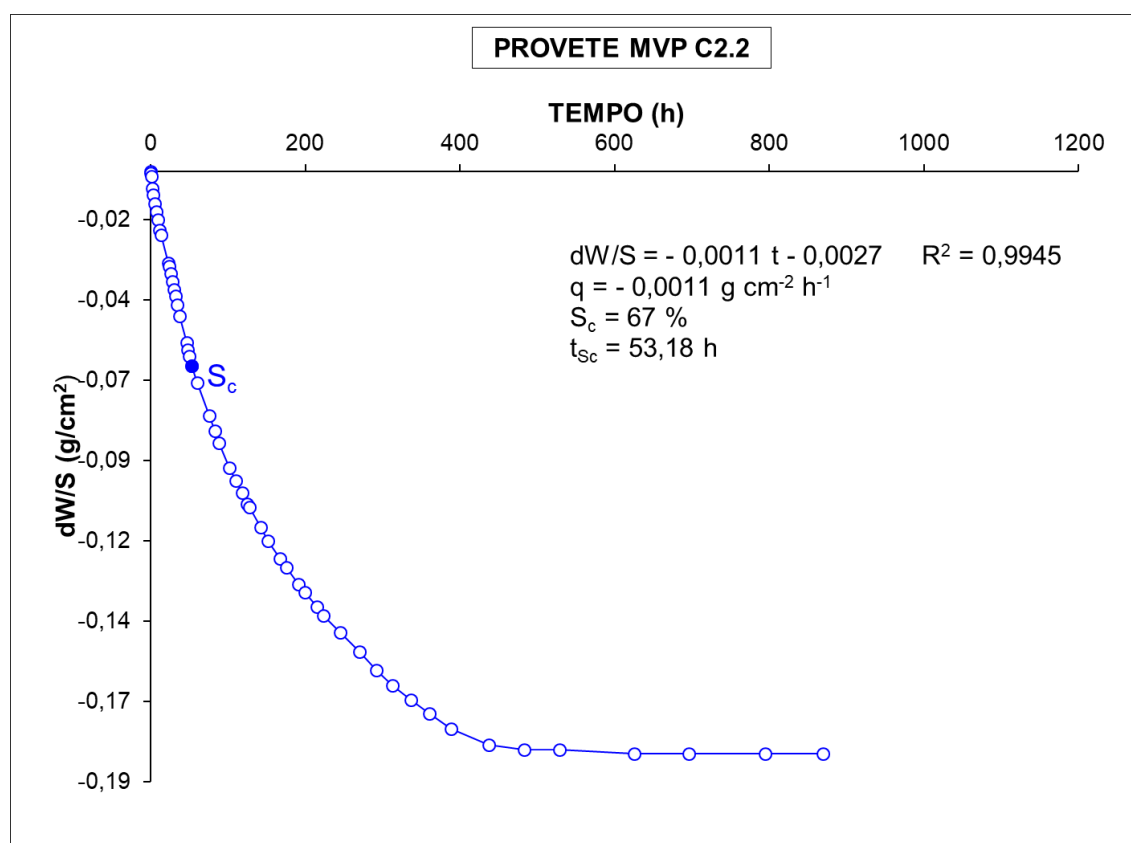


Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.2								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	19	15	3	2017	249,10	0	0,00	0,0000
10	22	15	3	2017	249,09	3	0,05	-0,0005
11	7	15	3	2017	249,07	48	0,80	-0,0016
12	1	15	3	2017	249,00	102	1,70	-0,0052
13	28	15	3	2017	248,96	189	3,15	-0,0072
15	29	15	3	2017	248,91	310	5,17	-0,0098
17	34	15	3	2017	248,86	435	7,25	-0,0124
19	34	15	3	2017	248,81	555	9,25	-0,0150
21	42	15	3	2017	248,75	683	11,38	-0,0181
23	32	15	3	2017	248,72	793	13,22	-0,0197
8	46	16	3	2017	248,55	1347	22,45	-0,0285
10	27	16	3	2017	248,53	1448	24,13	-0,0295
12	26	16	3	2017	248,49	1567	26,12	-0,0316
14	26	16	3	2017	248,44	1687	28,12	-0,0342
16	28	16	3	2017	248,39	1809	30,15	-0,0368
18	29	16	3	2017	248,35	1930	32,17	-0,0388
20	35	16	3	2017	248,30	2056	34,27	-0,0414
23	32	16	3	2017	248,23	2233	37,22	-0,0450
8	49	17	3	2017	248,07	2790	46,50	-0,0533
10	35	17	3	2017	248,03	2896	48,27	-0,0554
12	36	17	3	2017	247,99	3017	50,28	-0,0575
15	30	17	3	2017	247,93	3191	53,18	-0,0606
22	56	17	3	2017	247,83	3637	60,62	-0,0658
13	49	18	3	2017	247,63	4530	75,50	-0,0761
21	14	18	3	2017	247,54	4975	82,92	-0,0808
3	3	19	3	2017	247,47	5324	88,73	-0,0844
16	27	19	3	2017	247,32	6128	102,13	-0,0922
0	36	20	3	2017	247,24	6617	110,28	-0,0963
8	53	20	3	2017	247,17	7114	118,57	-0,0999
15	2	20	3	2017	247,10	7483	124,72	-0,1036
17	56	20	3	2017	247,08	7657	127,62	-0,1046
8	58	21	3	2017	246,96	8559	142,65	-0,1108
17	56	21	3	2017	246,88	9097	151,62	-0,1149
9	29	22	3	2017	246,77	10030	167,17	-0,1206
17	41	22	3	2017	246,72	10522	175,37	-0,1232
9	2	23	3	2017	246,62	11443	190,72	-0,1284
17	54	23	3	2017	246,57	11975	199,58	-0,1310
9	41	24	3	2017	246,48	12922	215,37	-0,1357
18	5	24	3	2017	246,43	13426	223,77	-0,1382
15	35	25	3	2017	246,33	14716	245,27	-0,1434
16	46	26	3	2017	246,21	16227	270,45	-0,1496
14	2	27	3	2017	246,10	17503	291,72	-0,1553
10	34	28	3	2017	246,01	18735	312,25	-0,1600

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.2								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	45	29	3	2017	245,92	20186	336,43	-0,1646
10	46	30	3	2017	245,84	21627	360,45	-0,1688
15	12	31	3	2017	245,75	23333	388,88	-0,1734
15	48	2	4	2017	245,65	26249	437,48	-0,1786
13	9	4	4	2017	245,62	28970	482,83	-0,1802
10	34	6	4	2017	245,62	31695	528,25	-0,1802
11	54	10	4	2017	245,60	37535	625,58	-0,1812
10	15	13	4	2017	245,60	41756	695,93	-0,1812
13	24	17	4	2017	245,60	47705	795,08	-0,1812
15	53	20	4	2017	245,60	52174	869,57	-0,1812

Dados do provete MVP C2.2

Peso (g)	249,10
Secção (cm ²)	19,3143
Altura (cm)	5,0620
Saturação crítica (%)	67



Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.3								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	25	15	3	2017	247,35	0	0,00	0,0000
10	34	15	3	2017	247,33	9	0,15	-0,0010
11	8	15	3	2017	247,29	43	0,72	-0,0031
12	2	15	3	2017	247,23	97	1,62	-0,0062
13	29	15	3	2017	247,18	184	3,07	-0,0088
15	29	15	3	2017	247,1	304	5,07	-0,0130
17	35	15	3	2017	247,03	430	7,17	-0,0166
19	35	15	3	2017	246,96	550	9,17	-0,0202
21	43	15	3	2017	246,89	678	11,30	-0,0239
23	34	15	3	2017	246,83	789	13,15	-0,0270
8	47	16	3	2017	246,6	1342	22,37	-0,0389
10	28	16	3	2017	246,56	1443	24,05	-0,0410
12	27	16	3	2017	246,5	1562	26,03	-0,0441
14	27	16	3	2017	246,46	1682	28,03	-0,0462
16	29	16	3	2017	246,42	1804	30,07	-0,0483
18	29	16	3	2017	246,38	1924	32,07	-0,0503
20	36	16	3	2017	246,33	2051	34,18	-0,0529
23	33	16	3	2017	246,26	2228	37,13	-0,0566
8	50	17	3	2017	246,11	2785	46,42	-0,0644
10	36	17	3	2017	246,08	2891	48,18	-0,0659
12	37	17	3	2017	246,05	3012	50,20	-0,0675
22	57	17	3	2017	245,91	3632	60,53	-0,0747
13	50	18	3	2017	245,73	4525	75,42	-0,0841
21	15	18	3	2017	245,66	4970	82,83	-0,0877
3	4	19	3	2017	245,6	5319	88,65	-0,0908
16	28	19	3	2017	245,48	6123	102,05	-0,0971
0	36	20	3	2017	245,41	6611	110,18	-0,1007
8	54	20	3	2017	245,35	7109	118,48	-0,1038
15	3	20	3	2017	245,29	7478	124,63	-0,1069
17	56	20	3	2017	245,28	7651	127,52	-0,1074
8	59	21	3	2017	245,17	8554	142,57	-0,1131
17	57	21	3	2017	245,1	9092	151,53	-0,1168
9	29	22	3	2017	245,02	10024	167,07	-0,1209
17	42	22	3	2017	244,95	10517	175,28	-0,1246
9	3	23	3	2017	244,89	11438	190,63	-0,1277
17	56	23	3	2017	244,85	11971	199,52	-0,1298
9	42	24	3	2017	244,77	12917	215,28	-0,1339
18	5	24	3	2017	244,74	13420	223,67	-0,1355
15	36	25	3	2017	244,66	14711	245,18	-0,1396
16	47	26	3	2017	244,55	16222	270,37	-0,1453
14	2	27	3	2017	244,47	17497	291,62	-0,1495
10	35	28	3	2017	244,4	18730	312,17	-0,1531
10	46	29	3	2017	244,34	20181	336,35	-0,1562

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C2.3								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	47	30	3	2017	244,27	21622	360,37	-0,1599
15	13	31	3	2017	244,21	23328	388,80	-0,1630
15	49	2	4	2017	244,13	26244	437,40	-0,1671
13	10	4	4	2017	244,09	28965	482,75	-0,1692
10	35	6	4	2017	244,09	31690	528,17	-0,1692
11	55	10	4	2017	244,08	37530	625,50	-0,1697
10	16	13	4	2017	244,08	41751	695,85	-0,1697
14	57	17	4	2017	244,08	47792	796,53	-0,1697
15	54	20	4	2017	244,07	52169	869,48	-0,1702

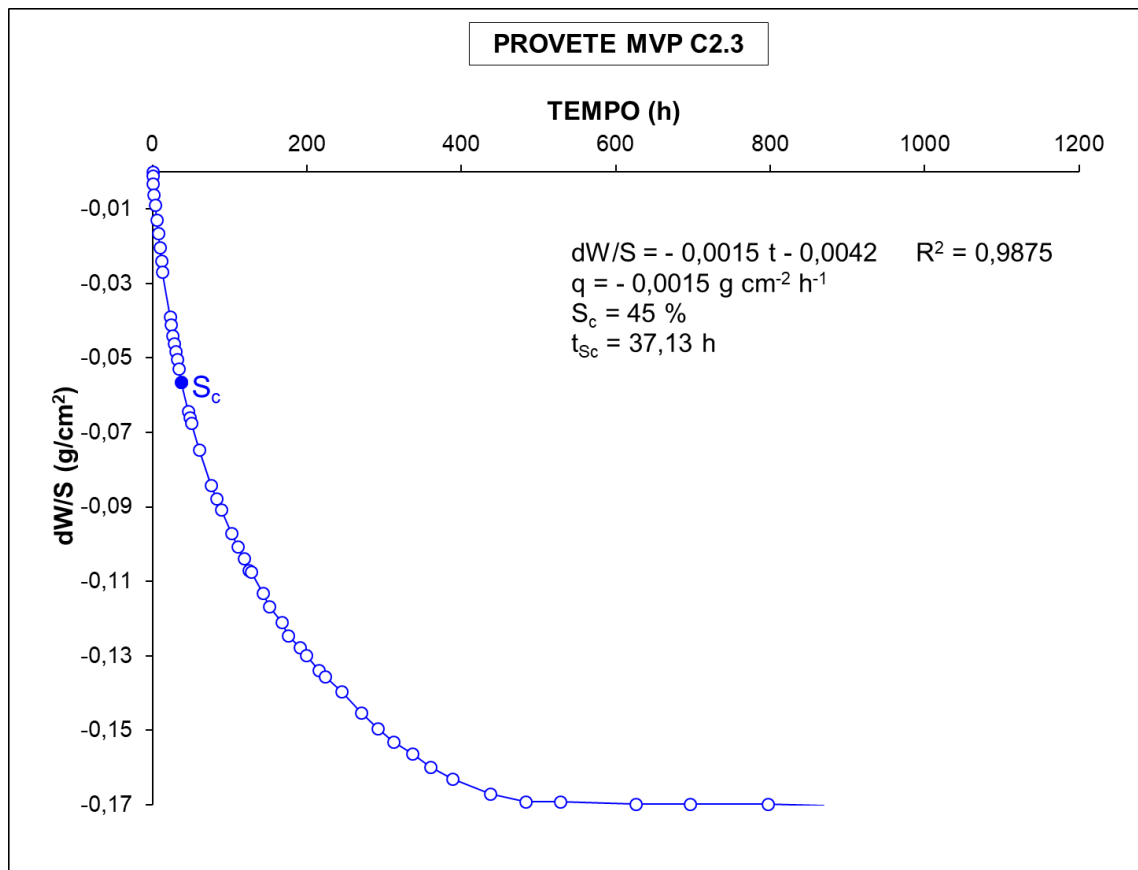
Dados do provete MVP C2.3

Peso (g) 247,35

Secção (cm²) 19,2676

Altura (cm) 5,0070

Saturação crítica (%) 71

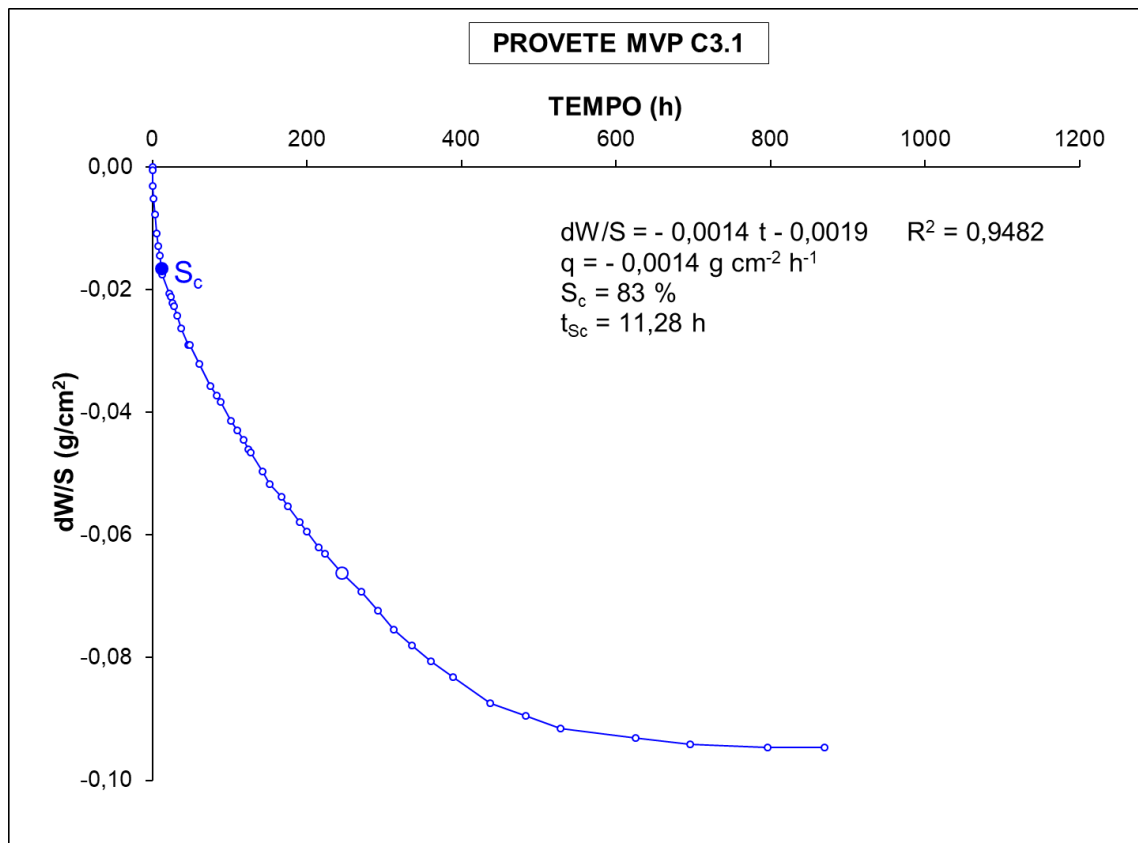


Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C3.1								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	27	15	3	2017,00	250,66	0	0,00	0,0000
10	34	15	3	2017,00	250,65	7	0,12	-0,0005
11	9	15	3	2017,00	250,60	42	0,70	-0,0031
12	2	15	3	2017,00	250,56	95	1,58	-0,0052
13	29	15	3	2017,00	250,51	182	3,03	-0,0078
15	30	15	3	2017,00	250,45	303	5,05	-0,0109
17	36	15	3	2017,00	250,41	429	7,15	-0,0129
19	36	15	3	2017,00	250,38	549	9,15	-0,0145
21	44	15	3	2017,00	250,34	677	11,28	-0,0165
23	34	15	3	2017,00	250,32	787	13,12	-0,0176
8	47	16	3	2017,00	250,26	1340	22,33	-0,0207
10	28	16	3	2017,00	250,25	1441	24,02	-0,0212
12	27	16	3	2017,00	250,23	1560	26,00	-0,0222
14	28	16	3	2017,00	250,22	1681	28,02	-0,0227
18	30	16	3	2017,00	250,19	1923	32,05	-0,0243
23	33	16	3	2017,00	250,15	2226	37,10	-0,0264
8	50	17	3	2017,00	250,10	2783	46,38	-0,0289
10	36	17	3	2017,00	250,10	2889	48,15	-0,0289
22	58	17	3	2017,00	250,04	3631	60,52	-0,0320
13	51	18	3	2017,00	249,97	4524	75,40	-0,0357
21	16	18	3	2017,00	249,94	4969	82,82	-0,0372
3	5	19	3	2017,00	249,92	5318	88,63	-0,0383
16	29	19	3	2017,00	249,86	6122	102,03	-0,0414
0	37	20	3	2017,00	249,83	6610	110,17	-0,0429
8	54	20	3	2017,00	249,80	7107	118,45	-0,0445
15	3	20	3	2017,00	249,77	7476	124,60	-0,0460
17	57	20	3	2017,00	249,76	7650	127,50	-0,0465
8	59	21	3	2017,00	249,70	8552	142,53	-0,0496
17	57	21	3	2017,00	249,66	9090	151,50	-0,0517
9	30	22	3	2017,00	249,62	10023	167,05	-0,0538
17	43	22	3	2017,00	249,59	10516	175,27	-0,0553
9	4	23	3	2017,00	249,54	11437	190,62	-0,0579
17	56	23	3	2017,00	249,51	11969	199,48	-0,0594
9	43	24	3	2017,00	249,46	12916	215,27	-0,0620
18	6	24	3	2017,00	249,44	13419	223,65	-0,0631
15	37	25	3	2017,00	249,38	14710	245,17	-0,0662
16	48	26	3	2017,00	249,32	16221	270,35	-0,0693
14	2	27	3	2017,00	249,26	17495	291,58	-0,0724
10	36	28	3	2017,00	249,20	18729	312,15	-0,0755
10	47	29	3	2017,00	249,15	20180	336,33	-0,0781
10	47	30	3	2017,00	249,10	21620	360,33	-0,0806
15	14	31	3	2017,00	249,05	23327	388,78	-0,0832
15	50	2	4	2017,00	248,97	26243	437,38	-0,0874

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C3.1								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
13	11	4	4	2017,00	248,93	28964	482,73	-0,0894
10	36	6	4	2017,00	248,89	31689	528,15	-0,0915
11	55	10	4	2017,00	248,86	37528	625,47	-0,0930
10	16	13	4	2017,00	248,84	41749	695,82	-0,0941
14	57	17	4	2017,00	248,83	47790	796,50	-0,0946
15	54	20	4	2017,00	248,83	52167	869,45	-0,0946

Dados do provete MVP C3.1

Peso (g)	250,66
Secção (cm ²)	19,3454
Altura (cm)	4,9980
Saturação crítica (%)	83



Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C4.2								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	29	15	3	2017	246,59	0	0,00	0,0000
10	34	15	3	2017	246,57	5	0,08	-0,0010
11	9	15	3	2017	246,53	40	0,67	-0,0031
12	3	15	3	2017	246,49	94	1,57	-0,0052
13	30	15	3	2017	246,43	181	3,02	-0,0083
15	30	15	3	2017	246,35	301	5,02	-0,0124
17	36	15	3	2017	246,27	427	7,12	-0,0166
19	36	15	3	2017	246,19	547	9,12	-0,0207
21	44	15	3	2017	246,10	675	11,25	-0,0254
23	35	15	3	2017	246,03	786	13,10	-0,0290
8	48	16	3	2017	245,74	1339	22,32	-0,0440
10	29	16	3	2017	245,68	1440	24,00	-0,0471
12	28	16	3	2017	245,61	1559	25,98	-0,0508
14	28	16	3	2017	245,55	1679	27,98	-0,0539
16	29	16	3	2017	245,49	1800	30,00	-0,0570
18	30	16	3	2017	245,46	1921	32,02	-0,0585
20	37	16	3	2017	245,42	2048	34,13	-0,0606
23	34	16	3	2017	245,37	2225	37,08	-0,0632
8	51	17	3	2017	245,28	2782	46,37	-0,0679
10	37	17	3	2017	245,27	2888	48,13	-0,0684
12	37	17	3	2017	245,25	3008	50,13	-0,0694
22	58	17	3	2017	245,18	3629	60,48	-0,0730
13	51	18	3	2017	245,10	4522	75,37	-0,0772
21	16	18	3	2017	245,07	4967	82,78	-0,0787
3	5	19	3	2017	245,05	5316	88,60	-0,0798
16	29	19	3	2017	244,99	6120	102,00	-0,0829
0	37	20	3	2017	244,95	6608	110,13	-0,0849
8	55	20	3	2017	244,93	7106	118,43	-0,0860
15	4	20	3	2017	244,90	7475	124,58	-0,0875
17	57	20	3	2017	244,89	7648	127,47	-0,0881
9	0	21	3	2017	244,83	8551	142,52	-0,0912
17	57	21	3	2017	244,80	9088	151,47	-0,0927
9	30	22	3	2017	244,76	10021	167,02	-0,0948
17	43	22	3	2017	244,74	10514	175,23	-0,0958
9	4	23	3	2017	244,70	11435	190,58	-0,0979
17	57	23	3	2017	244,68	11968	199,47	-0,0989
9	43	24	3	2017	244,64	12914	215,23	-0,1010
18	6	24	3	2017	244,64	13417	223,62	-0,1010
15	38	25	3	2017	244,62	14709	245,15	-0,1020
16	48	26	3	2017	244,59	16219	270,32	-0,1036
14	3	27	3	2017	244,57	17494	291,57	-0,1046
10	36	28	3	2017	244,55	18727	312,12	-0,1057
10	47	29	3	2017	244,55	20178	336,30	-0,1057

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C4.2 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
15	15	31	3	2017	244,54	23326	388,77	-0,1062
15	50	2	4	2017	244,53	26241	437,35	-0,1067
13	12	4	4	2017	244,53	28963	482,72	-0,1067
11	10	7	4	2017	244,53	33161	552,68	-0,1067
11	56	10	4	2017	244,53	37527	625,45	-0,1067
10	16	13	4	2017	244,53	41747	695,78	-0,1067
14	58	17	4	2017	244,53	47789	796,48	-0,1067
15	55	20	4	2017	244,53	52166	869,43	-0,1067

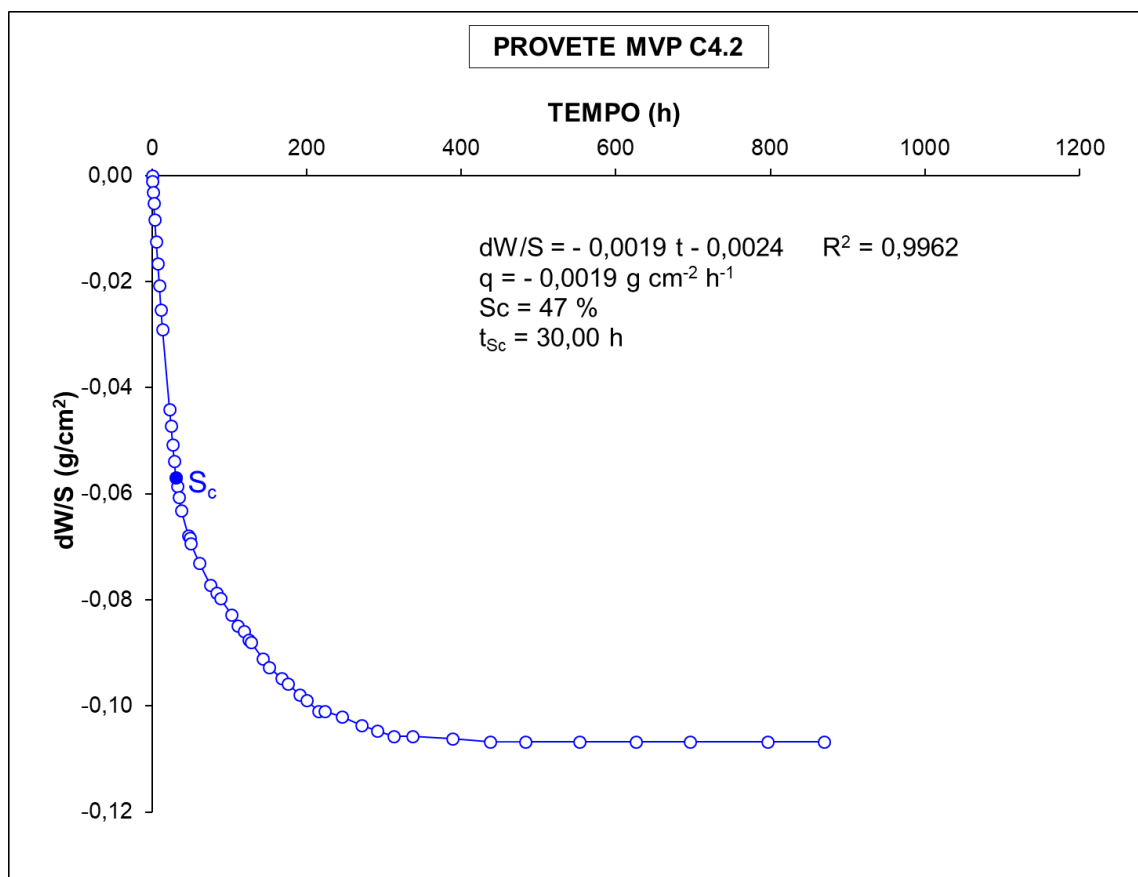
Dados do provete MVP C4.2

Peso (g) 246,59

Secção (cm²) 18,9808

Altura (cm) 5,0060

Saturação crítica (%) 47



Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C5.1								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	31	15	3	2017	246,63	0	0,00	0,0000
10	35	15	3	2017	246,62	4	0,07	-0,0005
11	10	15	3	2017	246,55	39	0,65	-0,0042
12	3	15	3	2017	246,54	92	1,53	-0,0047
13	31	15	3	2017	246,49	180	3,00	-0,0073
15	31	15	3	2017	246,43	300	5,00	-0,0104
17	37	15	3	2017	246,36	426	7,10	-0,0141
19	37	15	3	2017	246,31	546	9,10	-0,0167
21	44	15	3	2017	246,24	673	11,22	-0,0203
23	35	15	3	2017	246,19	784	13,07	-0,0229
8	48	16	3	2017	245,98	1337	22,28	-0,0339
10	29	16	3	2017	245,94	1438	23,97	-0,0360
12	28	16	3	2017	245,88	1557	25,95	-0,0391
14	29	16	3	2017	245,83	1678	27,97	-0,0417
16	30	16	3	2017	245,77	1799	29,98	-0,0449
18	31	16	3	2017	245,73	1920	32,00	-0,0469
20	38	16	3	2017	245,68	2047	34,12	-0,0495
23	34	16	3	2017	245,6	2223	37,05	-0,0537
8	51	17	3	2017	245,42	2780	46,33	-0,0631
10	38	17	3	2017	245,4	2887	48,12	-0,0641
12	38	17	3	2017	245,36	3007	50,12	-0,0662
15	31	17	3	2017	245,3	3180	53,00	-0,0694
22	58	17	3	2017	245,18	3627	60,45	-0,0756
13	52	18	3	2017	244,99	4521	75,35	-0,0855
21	16	18	3	2017	244,9	4965	82,75	-0,0902
3	6	19	3	2017	244,83	5315	88,58	-0,0939
16	29	19	3	2017	244,67	6118	101,97	-0,1022
0	38	20	3	2017	244,59	6607	110,12	-0,1064
8	55	20	3	2017	244,51	7104	118,40	-0,1106
15	4	20	3	2017	244,44	7473	124,55	-0,1142
17	58	20	3	2017	244,42	7647	127,45	-0,1153
9	0	21	3	2017	244,29	8549	142,48	-0,1220
17	58	21	3	2017	244,21	9087	151,45	-0,1262
9	31	22	3	2017	244,1	10020	167,00	-0,1319
17	43	22	3	2017	244,04	10512	175,20	-0,1351
9	5	23	3	2017	243,94	11434	190,57	-0,1403
17	57	23	3	2017	243,89	11966	199,43	-0,1429
9	44	24	3	2017	243,8	12913	215,22	-0,1476
18	7	24	3	2017	243,76	13416	223,60	-0,1497
15	39	25	3	2017	243,66	14708	245,13	-0,1549
16	49	26	3	2017	243,55	16218	270,30	-0,1606
14	3	27	3	2017	243,45	17492	291,53	-0,1658
10	37	28	3	2017	243,37	18726	312,10	-0,1700

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C5.1 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	48	29	3	2017	243,29	20177	336,28	-0,1742
10	48	30	3	2017	243,21	21617	360,28	-0,1784
15	15	31	3	2017	243,12	23324	388,73	-0,1831
15	51	2	4	2017	243	26240	437,33	-0,1893
13	12	4	4	2017	242,95	28961	482,68	-0,1919
10	38	6	4	2017	242,93	31687	528,12	-0,1930
11	57	10	4	2017	242,93	37526	625,43	-0,1930
10	17	13	4	2017	242,92	41746	695,77	-0,1935
14	58	17	4	2017	242,92	47787	796,45	-0,1935
15	55	20	4	2017	242,92	52164	869,40	-0,1935

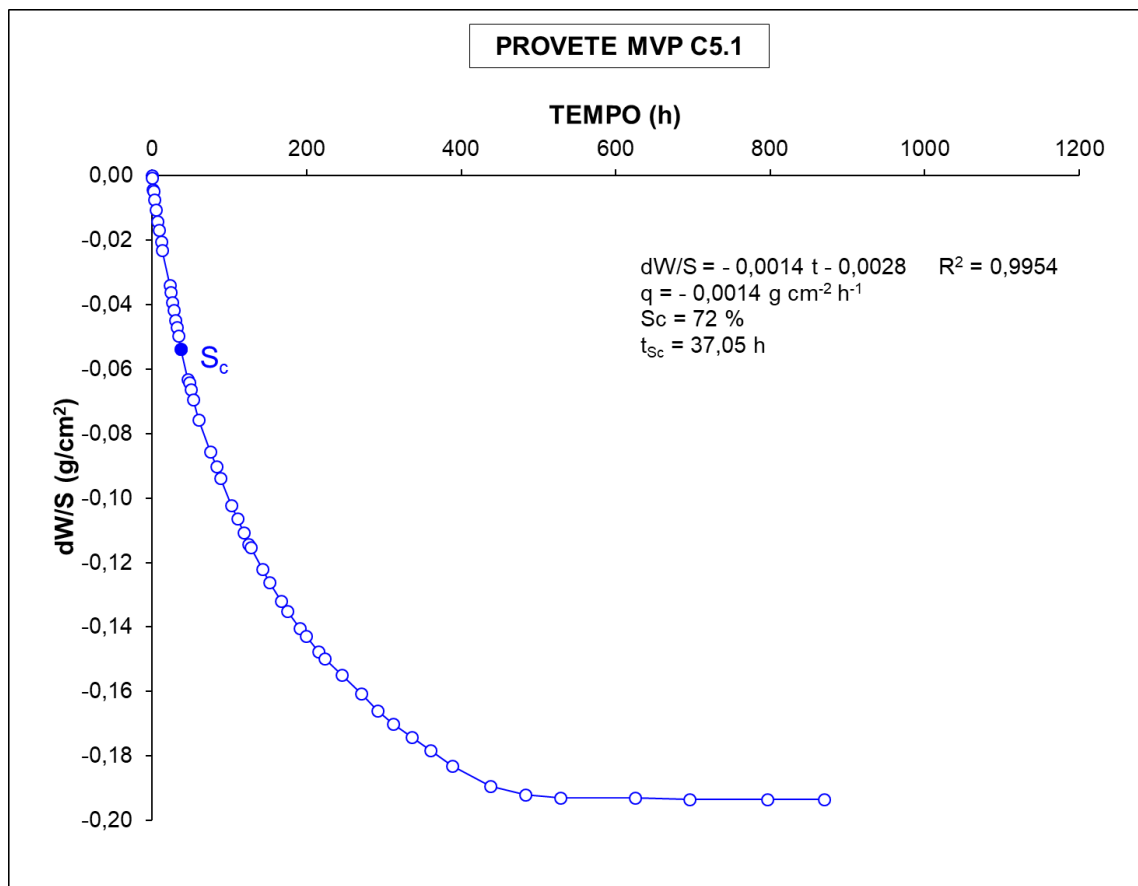
Dados do provete MVP C5.1

Peso (g) 246,63

Secção (cm²) 19,1743

Altura (cm) 5,0410

Saturação crítica (%) 72

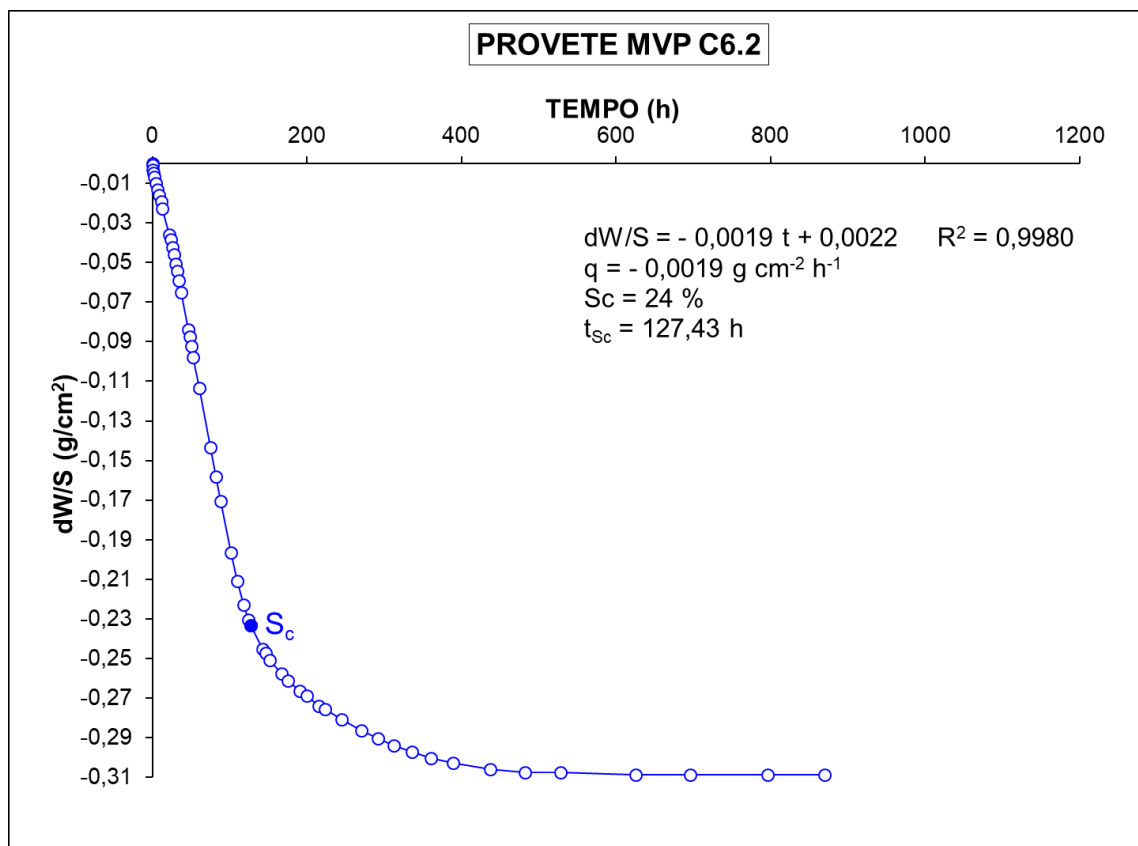


Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C6.2								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	32	15	3	2017	237,69	0	0,00	0,0000
10	35	15	3	2017	237,68	3	0,05	-0,0005
11	10	15	3	2017	237,63	38	0,63	-0,0031
12	4	15	3	2017	237,60	92	1,53	-0,0047
13	31	15	3	2017	237,56	179	2,98	-0,0067
15	31	15	3	2017	237,50	299	4,98	-0,0098
17	37	15	3	2017	237,44	425	7,08	-0,0129
19	37	15	3	2017	237,38	545	9,08	-0,0160
21	45	15	3	2017	237,32	673	11,22	-0,0191
23	36	15	3	2017	237,25	784	13,07	-0,0228
8	50	16	3	2017	237,00	1338	22,30	-0,0357
10	30	16	3	2017	236,95	1438	23,97	-0,0383
12	29	16	3	2017	236,87	1557	25,95	-0,0424
14	29	16	3	2017	236,80	1677	27,95	-0,0460
16	30	16	3	2017	236,71	1798	29,97	-0,0507
18	31	16	3	2017	236,64	1919	31,98	-0,0543
20	38	16	3	2017	236,55	2046	34,10	-0,0590
23	35	16	3	2017	236,43	2223	37,05	-0,0652
8	52	17	3	2017	236,07	2780	46,33	-0,0838
10	38	17	3	2017	236,00	2886	48,10	-0,0874
12	39	17	3	2017	235,91	3007	50,12	-0,0920
15	32	17	3	2017	235,80	3180	53,00	-0,0977
22	59	17	3	2017	235,50	3627	60,45	-0,1133
13	52	18	3	2017	234,92	4520	75,33	-0,1432
21	17	18	3	2017	234,63	4965	82,75	-0,1582
3	6	19	3	2017	234,39	5314	88,57	-0,1707
16	30	19	3	2017	233,89	6118	101,97	-0,1965
0	38	20	3	2017	233,61	6606	110,10	-0,2110
8	56	20	3	2017	233,38	7104	118,40	-0,2229
15	4	20	3	2017	233,23	7472	124,53	-0,2306
17	58	20	3	2017	233,18	7646	127,43	-0,2332
9	1	21	3	2017	232,95	8549	142,48	-0,2451
12	44	21	3	2017	232,91	8772	146,20	-0,2472
17	58	21	3	2017	232,84	9086	151,43	-0,2508
9	31	22	3	2017	232,71	10019	166,98	-0,2575
17	44	22	3	2017	232,64	10512	175,20	-0,2611
9	5	23	3	2017	232,54	11433	190,55	-0,2663
17	58	23	3	2017	232,49	11966	199,43	-0,2689
9	44	24	3	2017	232,39	12912	215,20	-0,2741
18	8	24	3	2017	232,36	13416	223,60	-0,2756
15	39	25	3	2017	232,26	14707	245,12	-0,2808
16	50	26	3	2017	232,15	16218	270,30	-0,2865
14	4	27	3	2017	232,07	17492	291,53	-0,2906

Resultados do ensaio de evaporação do PROVETE MVP C6.2 (continuação)								
Hora	Minuto	Dia	Mês	Ano	Peso	Minutos	Horas	dW/S
10	37	28	3	2017	232,00	18725	312,08	-0,2942
10	49	29	3	2017	231,94	20177	336,28	-0,2973
10	49	30	3	2017	231,88	21617	360,28	-0,3005
15	16	31	3	2017	231,83	23324	388,73	-0,3030
15	51	2	4	2017	231,77	26239	437,32	-0,3061
13	13	4	4	2017	231,74	28961	482,68	-0,3077
10	40	6	4	2017	231,74	31688	528,13	-0,3077
11	58	10	4	2017	231,72	37526	625,43	-0,3087
10	17	13	4	2017	231,72	41745	695,75	-0,3087
14	58	17	4	2017	231,72	47786	796,43	-0,3087
15	56	20	4	2017	231,72	52164	869,40	-0,3087

Dados do provete MVP C6.2

Peso (g)	237,69
Secção (cm ²)	19,3376
Altura (cm)	5,0190
Saturação crítica (%)	24



**ANEXO A4 – LEITURAS E RESULTADOS OBTIDOS COM O
ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT**

Localização	Cartografia	Esclerómetro	Medições realizadas com o esclerómetro de Schmidt	Média das medições	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
1 N			38 34 29 22 31 28 34 36 27 38 27 22	31	43
2 N			30 26 28 27 32 26 30 23 30 29 28 28 34	29	39
3 N			33 33 31 31 28 26 25 31 28 35 29 39	31	43
4 N			32 27 26 40 27 32 37 31 30 44 27 32	32	45
5 N			25 22 23 20 21 28 29 28 20 27 25 29 35 26	26	34
6 N			28 21 26 26 40 24 20 36 24 30 28 32 22 26	27	37
7 N			25 27 24 27 24 23 28 23 27 26 24 21	25	33
8 N			25 38 36 23 34 25 24 30 33	30	42
9 N			36 35 40 36 30 27 28 33 40 41 39 32 34 35 34	35	54
10 N			36 27 27 22 33 28 35 28 29 26 33	29	39
11 W			14 11 22 10 18 15 27 18 17 11 16 16 18 17 17 18 10 11 15 10 10 11 11 15 10 14 13 10 10 18 14 10 14 13	15	18
			10 10 12 15 11 11 13 16 10 10 11 15 16 12 19 19 12 14 14 20 28 24 24 19		
12 W			20 17 24 24 30 18 30 18 16 18 30 29 21 20 11 18 12 16 19 20 24 25 25 11 36 14 26 13 29 18 18 35 14 14	21	25
			18 15 22 34		
12 E			20 25 29 27 27 28 15 15 19 14 20 31 21 25 27 24 22 27 25 24 16 23 22 22 15 17 18 28 25 25 12 23 24 18	22	26
			12 21 18 18 30 11 30 32 21 20		
13 W			14 15 17 20 14 21 14 16 20 11 20 17 24 17 14 14 13 17 11 14 17 15 15 15 15 12 16 20 15 17	16	19
13 E			14 17 19 10 11 10 16 17 18 10 15 17 14 17 13 11 11 11 10 13 10 17 19 19 17 19 20 16 20 17	15	18
14 W			22 12 27 26 16 21 26 20 12 25 21 22 12 28 22 34 18 18 21 27 12 17 23 22	21	25

Localização	Cartografia	Esclerómetro	Medições realizadas com o esclerómetro de Schmidt (continuação)	Média das medições	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
15 W			13 20 25 18 12 15 12 17 23 20 19 18 10 21 26 26 18 14 17 29 20 14 11 21 19 10 16 10 19 14 15 14 17 25 28 17 26 14	18	21
16 W			21 23 11 18 18 11 26 12 19 22 14 12	17	20
17 S			15 14 16 12 23 14 13 12 12 20 16 11 17 21 10 15 10 14 18 24 19 14 10 10 25 11 11	15	18
17 W			15 17 12 11 18 17 23 17 14 13 12 23 22 11 17 27 11 18 14 17 25 18	17	20
18 S			15 18 22 14 27 18 17 13 17 11 21 10 25 11	17	20
18 W			23 27 13 17 13 17 18 13 20 13 22 17 10 23 22 11 10 22 10 13	17	20
19 S			20 11 13 28 13 12 23 18 27 35 17 25 35 17 14 17 14 18 23 18 22 18	20	24
19 W			18 29 19 19 25 28 18 22 22 18 21 15 22 23 17	21	25
20 S			20 21 23 21 25 17 17 18 27 25 28 13 25 17 21 21 117 13	21	25
21 W			20 25 26 14 15 18 14 20 18 18 18 20 12 18 14 10 20 18 10 28 12 20 18 18 18 16 16 16 14 16 19 10 13 17 17 22	17	20
21 N			23 21 17 21 19 20 16 14 13 12 19 24 16 18 21 12 14	18	21
22 W			31 35 40 38 37 28 28 38 36 38 38 35 37 42 32 41 34 40 37 36 34 42 34 37 36 28 40 38 36 38 39 31 34 42 36 33	36	55
22 W			28 25 15 17 24 21 11 20 18 19 13 11 24 21 21 25	20	24
22 N			27 28 28 20 26 35 26 21 26 22 25 31 34 30 25 24 36 19 32 23 21 33 28 22	27	37
22 N			14 22 12 19 11 18 10 22 19 20 11 13	16	19
22 E			13 10 18 26 38 30 10 19 12 21 12 11 17 24 18 30 10 18 21 10 16 11 12 18 22 10 14 10 12 16 15	17	20
23 W			29 27 25 26 27 28 24 24 27 24 30 31 22 27	27	37

Localização	Cartografia	Esclerómetro	Medições realizadas com o esclerómetro de Schmidt (continuação)	Média das medições	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
23 W			15 19 18 19 17 24 20 27 13 21	19	23
23 N			25 23 28 18 14 32 24 25 15 25 30 27 24 13 25 24 30 28	24	30
23 E			15 17 23 20 20 14 14 12 20 12 14 22 21 24 15	18	21
24 W			11 19 17 15 14 18 17 20 19 10 21 11 17 25 20 16 17 12 14 24 20 22	17	20
24 S			16 21 28 18 15 18 22 13 21 23 16 28 18 23 18	20	24
25 W			18 34 25 31 24 30 33 31 31 30 34 30 28 34 33 26 27 32 27 25 26 29 32 29 30 32 21 24 33 27 30 31	29	39
26 W			45 45 40 40 41 45 38 37 44 38 38 38 42 37 39 34 40 40 41 38 34 32 35	39	66
27 W			37 39 41 41 42 40 40 41 43 39 40 44 40 41 40 43 37 45 40 37 45 39	41	76
28 W			42 39 42 46 45 48 45 40 41 36 43 40 43 42	42	80
29 W			36 40 41 37 43 40 40 38 40 41 39 38 40 42 42 40 40 37 42 40	40	69
30 W			40 36 34 30 34 36 40 40 38 26 24 25 25 18 22 32 41 41 23	32	45
30 N			42 40 36 37 40 38 44	40	69
30 N			12 19 17 17 23 10 21 26 16 20	18	21
30 N			21 11 18 22 33 19 18	20	24
30 N			40 36 35 37 39 28 28 37 41	36	55
30 E			39 41 40 43 36 35 37 47 39 41 33 36 31 30 37 39 34 35 33 35	37	60
31 W			28 30 26 30 31 30 28 25 25 29 29 27 21 28 24 25 27 26 29 23	27	37
31 N			30 28 33 30 32 33 28 35 32 36 33 30 30 32 25 32 29 31 32 36	31	43
31 E			32 35 34 28 34 33 35 25 25 33 36 36 37 36 39 33 26 37 36 32 35 33 39 37	34	50
32 W			28 30 28 25 33 27 32 32 30 33 25 36 30 34 32	30	42

Localização	Cartografia	Esclerómetro	Medições realizadas com o esclerómetro de Schmidt (continuação)	Média das medições	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
32 N			28 32 32 33 28 27 25 25 28 27	29	39
33 N			35 35 40 43 44 45 36 30 31 34	37	60
33 E			40 43 41 29 41 40 43 36 36 37 36 37 40 38 34 36 36 35 39 37	38	65
34 W			30 31 30 30 32 32 30 37 33 32 38	32	45
34 N			31 35 33 31 29 25 25 30 35 29 35	31	43
34 E			37 38 32 40 37 35 36 37 39 36	37	60
35 W			40 40 37 39 36 41 39 37 42 35 43	39	66
36 W			33 27 29 25 27 27 29 33 26 32 31 25 29 35 29 33 30 32 32 28 29 29 31 26 25	29	39
36 N			24 26 19 28 25 27 25 26 26 29 25 35 21 28 23	26	34
36 E			29 30 33 33 33 33 30 30 36 37 33 30 32 35 31 30 30	32	45